

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

PROYECTO TÉCNICO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

"DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LÁCTEOS MARCO'S"

AUTOR: Daniel Marcelo Barona López

TUTOR: Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Febrero - 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LÁCTEOS MARCO'S",** elaborado por el estudiante Daniel Marcelo Barona López, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1805095583, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Proyecto Técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2025

.....

Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Daniel Marcelo Barona López**, con C.I. 1805095583, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LÁCTEOS MARCO'S",** así como también las ideas de diseño, parámetros, criterios, análisis, tablas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2025



.....

Daniel Marcelo Barona López

C.I. 1805095583

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en la línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2025



.....

Daniel Marcelo Barona López

C.I. 1805095583

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Daniel Marcelo Barona López, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LÁCTEOS MARCO'S"**.

Ambato, febrero 2025

Para constancia firman:

.....	.....
Ing. Luis Eduardo Escobar Luna, Mg.	**Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg.**
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino, iluminando mi sendero con su sabiduría infinita.

A mi madre Sonia, por su amor incondicional, sacrificios y apoyo constante, quien ha sido mi pilar y mi mayor apoyo en cada etapa de este camino.

A mi padre Marcelo, quien, a pesar de la distancia, siempre se ha mantenido pendiente de mi crecimiento personal y profesional.

A mi hermana Lorena y mi cuñado Paul, por su respaldo y palabras de aliento que han sido fundamentales en este proceso.

A mi novia Ángeles, por su amor, paciencia y motivación, que me han inspirado a dar lo mejor de mí.

A mi familia materna, quienes siempre han estado presentes con su cariño y apoyo, dándome fuerzas para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Con profundo agradecimiento, comienzo estas palabras dedicadas a quienes han sido un apoyo invaluable y constante en la realización de este proyecto académico. En primer lugar, a Dios por darme la vida, la salud y la oportunidad de alcanzar esta meta tan significativa en mi vida.

A mi madre Sonia, cuyo amor y dedicación han sido el motor que me impulsa a superar cada desafío.

A mi padre Marcelo, porque, a pesar de la distancia y las circunstancias, su interés y apoyo siempre han estado presentes.

A mi hermana Lorena y mi cuñado Paul, por estar a mi lado, brindándome palabras de aliento en los momentos más importantes.

A mi novia Ángeles, quien ha sido mi compañera incondicional, aportando su apoyo emocional y ánimo en este trayecto.

A mi familia materna, quienes con su presencia, apoyo y afecto me han ayudado a construir los cimientos de este logro.

De igual manera, agradezco profundamente a la Industria de Lácteos Marco’s por abrirme sus puertas y permitirme desarrollar este proyecto.

Finalmente, al Ing. Santiago Cabrera, mi tutor, cuya orientación, conocimiento y compromiso fueron clave para culminar exitosamente este trabajo.

INDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
INDICE GENERAL viii
ÍNDICE DE FIGURAS xiii
ÍNDICE DE TABLAS xv
ÍNDICE DE ANEXOS xvii
GLOSARIO DE TÉRMINOS xviii
RESUMEN EJECUTIVO xxi
ABSTRACT xxii
CAPÍTULO I 1
MARCO TEÓRICO 1
1.1. Antecedentes investigativos 1
1.1.1. Antecedentes 1
1.1.2. Justificación 2
1.2. Objetivos 3
1.2.1. Objetivo general 3
1.2.2. Objetivos específicos 3
1.3. Fundamentación teórica 3
1.3.1. Transferencia de calor 3
1.3.2. Conducción 3
1.3.2.1. Conducción de calor en cilindros 4

1.3.3. Convección 5

1.3.5. Propiedades termodinámicas 6

1.3.6. Ecuación de la energía 7

1.3.7. Cálculo del caudal 8

1.3.8. Pérdidas primarias (fricción) 8

1.3.9. Pérdidas secundarias (accesorios) 10

1.3.10. Balance de energía para sistemas de flujo estacionario 11

1.3.11. Velocidades máximas permisibles de flujo de líquido y vapor en tuberías 11

1.3.12. Selección de bombas 13

1.3.12.1. Bombas de condensado 13

1.3.13. Consumo de agua en la industria alimentaria 15

1.3.14. Proceso UHT en una industria láctea 16

1.3.15. Condensados en la industria láctea 17

1.3.16. Calderas en la industria láctea 17

1.3.16.1. Caldera Pirotubular 18

1.3.16.2. Caldera Acuotubular 20

1.3.17. Consumo de combustible en las calderas 20

1.3.18. Producción más limpia en la industria láctea 21

1.3.19. Sistema de recuperación de condensados como alternativa para la optimización del consumo energético 22

1.3.19.1. Sistemas venteados 22

1.3.19.2. Sistemas presurizados 23

CAPÍTULO II 25

METODOLOGÍA 25

2.1. Ubicación 25

2.2. Equipos y materiales 25

2.2.1. Condensados desperdiciados 25
2.2.2. Condensados recuperados 25
2.3. Procedimientos 25
2.3.1. Recolección de datos 25
2.3.1.1. Área de generación de vapor 26
2.3.1.2. Área de producción de leche UHT 31
2.3.1.3. Área de producción de yogurt 33
2.3.1.4. Área de producción de queso 36
2.3.2. Análisis de alternativas 37
2.4. Flujograma de proyecto técnico 39
2.5. Tipo de investigación 41
2.5.1. Descriptivo 41
2.5.2. Bibliográfico 41
2.5.3. Exploratoria 41
2.5.4. Investigación de Campo 41
2.6. Métodos 41
2.6.1. Comparación de las diferentes alternativas de diseño 41
2.6.2. Implementación de las normas para el diseño 42
2.7. Cálculos 42
2.7.1. Área de producción de vapor 42
2.7.2. Áreas de procesos de producción 44
2.7.3. Determinación de pérdidas térmicas en la caldera 49
2.7.3.1. Pérdidas de calor a través de las paredes de la caldera 52
2.7.3.1.1. Pérdidas por convección de la caldera 52
2.7.3.1.2. Pérdidas por radiación de la caldera 54
2.7.3.1.3 Pérdidas totales por convección y radiación de la caldera 55
2.7.3.2. Pérdidas de calor a través de las paredes de la chimenea 55

2.7.3.2.1. Pérdidas por convección de la chimenea 55
2.7.3.2.2. Pérdidas por radiación de la chimenea..... 56
2.7.3.2.3. Pérdidas totales por convección y radiación de la chimenea 57
2.7.4. Pérdidas de calor por la salida de gases de escape por la chimenea 57
2.7.5. Pérdidas por convección natural en las tuberías de los diferentes tramos 58
2.7.6. Resumen total de pérdidas de calor en el sistema 59
CAPÍTULO III 62
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 62
3. Cálculo de la producción..... 62
3.1. Selección de componentes..... 63
3.1.1. Tanque recolector de condensado 63
3.1.1.1. Dimensionamiento del tanque recolector de condensado..... 63
3.1.1.2. Cálculo del espesor de las paredes del tanque 64
3.1.1.3. Material del tanque recolector de condensado..... 65
3.1.2. Tubería de succión 77
3.1.2.1. Material de la tubería de succión 77
3.1.2.2. Pérdidas primarias en la tubería de succión..... 77
3.1.2.3. Pérdidas secundarias en la tubería de succión 79
3.1.3. Bomba Mecánica..... 80
3.1.3.1. Material de la bomba mecánica 80
3.1.3.2. Potencia de la bomba 80
3.1.4. Válvula de globo 82
3.1.5. Filtro Y 82
3.1.6. Válvula de retención 82
3.3. Presupuesto final 84
3.4. Ahorro de recursos operativos..... 85

3.4.1. Ahorro de combustible 85
3.4.2. Ahorro de agua 87
3.5. Evaluación de los resultados obtenidos 89
3.6. Retorno de la inversión 90
3.7. Evaluación ambiental 90
CAPÍTULO IV 92
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 92
4.1. CONCLUSIONES 92
4.2. RECOMENDACIONES 93
ANEXOS 100
PLANO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS 126

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Bombas de condensado eléctricas centrífugas 13
Figura 2. Bomba de condensados mecánica 14
Figura 3. Caldera Pirotubular 18
Figura 4. Caldera de horno horizontal 19
Figura 5. Caldera de horno interno 20
Figura 6. Caldera Acuotubular 20
Figura 7. Sistema venteado 23
Figura 8. Sistema presurizado 24
Figura 9. Caldera principal 26
Figura 10. Motor y bomba de la caldera principal 27
Figura 11. Caldera emergente 28
Figura 12. Bomba con motor de la caldera emergente 29
Figura 13. Tanque manifold 1 30
Figura 14. Tanque manifold 2 30
Figura 15. Esterilizador UHT 32
Figura 16. Trampa de vapor 33
Figura 17. Tinas de yogurt 34
Figura 18. Tinas de queso 36
Figura 19. Flujograma del proyecto 40
Figura 20. Diagrama general del área de producción de leche UHT 44
Figura 21. Diagrama general del área de producción de yogurt 45
Figura 22. Diagrama general del área de producción de queso 46
Figura 23. Diagrama de tuberías definido por tramos 58
Figura 24. Distribución de pérdidas térmicas 60
Figura 25. Diagrama de Sankey para balance de energía 61
Figura 26. Diseño del tanque recolector de condensados 67
Figura 27. Diseño de las tapas del tanque 69
Figura 28. Diagrama de reacciones en los soportes 71
Figura 29. Diagrama de fuerza cortante 71
Figura 30. Diagrama de momento flector 71
Figura 31. Diseño de la viga con el perfil "L" 72

Figura 32. Diseño de la columna de tubo cuadrado 73
Figura 33. Factor de seguridad de la columna 73
Figura 34. Pandeo de la columna 74
Figura 35. Diseño del tanque de recolector y su base 74
Figura 36. Tubo de acero liso - Agua a 90°C 77
Figura 37. Dimensionamiento de tubería de succión 78
Figura 38. Bomba mecánica GT10L 82
Figura 39. Sistema de recuperación de condensados 83
Figura 40. Consumo de diésel vs Leche UHT procesada 86
Figura 41. Consumo de agua vs Leche UHT procesada 88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades máximas permisibles de líquidos en tuberías (m/s) 12
Tabla 2. Velocidades máximas permisibles de gases y vapores en tuberías (m/s). ... 12
Tabla 3. Datos técnicos de la caldera principal..... 26
Tabla 4. Datos técnicos del motor y bomba de agua..... 27
Tabla 5. Datos técnicos de la caldera emergente 28
Tabla 6. Datos técnicos de la bomba con motor 29
Tabla 7. Distribución de tuberías de los tanques manifold..... 31
Tabla 8. Datos técnicos del esterilizador UHT 32
Tabla 9. Datos técnicos de la trampa de vapor..... 33
Tabla 10. Capacidad de las tinas de yogurt..... 34
Tabla 11. Datos técnicos de la tina de yogurt 1-2..... 34
Tabla 12. Datos técnicos de la tina de yogurt 3-4..... 35
Tabla 13. Datos técnicos de la tina de yogurt 5-6..... 35
Tabla 14. Datos técnicos de la tina de yogurt 7 35
Tabla 15. Capacidad de las tinas de queso..... 36
Tabla 16. Datos técnicos de la tina de queso 1 37
Tabla 17. Datos técnicos de la tina de queso 2 37
Tabla 18. Ponderación de alternativas 38
Tabla 19. Datos de entrada para vapor máximo producido por la caldera..... 42
Tabla 20. Datos de entrada para producción de vapor actual de la caldera 43
Tabla 21. Datos de entrada para potencia en base al consumo de combustible..... 43
Tabla 22. Datos área leche UHT..... 45
Tabla 23. Datos área de yogurt 46
Tabla 24. Datos área de queso..... 47
Tabla 25. Resumen de cálculos de las diferentes áreas..... 48
Tabla 26. Propiedades del fluido para convección..... 49
Tabla 27. Pérdidas de calor en las paredes planas de la caldera 52
Tabla 28. Constantes para la correlación Hilpert..... 53
Tabla 29. Pérdidas de calor en periferia cilíndrica de la caldera 53
Tabla 30. Pérdidas de calor en paredes planas de la caldera..... 54
Tabla 31. Pérdidas de calor en periferia cilíndrica de la caldera 54

Tabla 32. Resumen de pérdidas totales por paredes de la caldera 55
Tabla 33. Cálculo de pérdidas de calor por convección..... 55
Tabla 34. Cálculo de pérdidas por radiación..... 56
Tabla 35. Resumen de pérdidas totales por paredes de chimenea 57
Tabla 36. Cálculo de pérdidas por flujo de gases por la chimenea..... 57
Tabla 37. Definición de los tramos 58
Tabla 38. Pérdidas de calor por tramos en tuberías de vapor..... 59
Tabla 39. Cálculo de pérdidas totales 60
Tabla 40. Producción de la empresa 62
Tabla 41. Datos para el cálculo del espesor 64
Tabla 42. Selección del material para el tanque recolector..... 66
Tabla 43. Dimensiones del tanque 67
Tabla 44. Espesor de las tapas del tanque recolector..... 68
Tabla 45. Cálculo del peso total del tanque 70
Tabla 46. Sección necesaria para las vigas. 70
Tabla 47. Área de la columna 72
Tabla 48. Pérdidas de calor por paredes planas del tanque..... 75
Tabla 49. Pérdidas de calor por convección natural, por superficie cilíndrica del tanque 76
Tabla 50. Pérdidas totales de calor en el tanque recolector 76
Tabla 51. Datos de entrada de la tubería de succión..... 77
Tabla 52. Datos de los tramos de la tubería de succión 78
Tabla 53. Cálculos por accesorios primarias en la tubería de succión..... 80
Tabla 54. Datos técnicos de la bomba mecánica..... 82
Tabla 55. Consumo de diésel y leche UHT procesada..... 86
Tabla 56. Ahorro de energía con el sistema de recuperación de condensados 87
Tabla 57. Consumo de agua y leche UHT procesada 88
Tabla 58. Consumo de agua por la caldera 89
Tabla 59. Resultados con el sistema de recuperación de condensados..... 89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica de la caldera principal 100
Anexo 2. Ficha técnica motor y bomba de la caldera principal 102
Anexo 3. Ficha técnica de la caldera emergente 103
Anexo 4. Ficha técnica del motor-bomba de la caldera emergente 105
Anexo 5. Ficha técnica del esterilizador UHT. 106
Anexo 6. Ficha técnica de la trampa de vapor 107
Anexo 7. Tabla de presiones agua saturada 108
Anexo 8. Propiedades de algunos combustibles e hidrocarburos comunes 109
Anexo 9. Tabla de temperaturas de agua saturada 110
Anexo 10. Propiedades de la atmósfera a gran altitud 111
Anexo 11. Datos tomados en sitio área UHT 112
Anexo 12. Datos tomados en sitio área de yogurt y queso 113
Anexo 13. Datos de caudales tomados en sitio 114
Anexo 14. Diámetros de tuberías de acero cedula 40 115
Anexo 15. Emisividad de las superficies 116
Anexo 16. Propiedades del aire a presión de 1 atm 117
Anexo 17. Propiedades del agua 118
Anexo 18. Rugosidad de tuberías 119
Anexo 19. Materiales de placa admisibles y tensiones admisibles 120
Anexo 20. Catálogo de perfiles "L" 121
Anexo 21. Catálogo de tubos cuadrados 122
Anexo 22. Análisis de agua potable 123
Anexo 23. Hoja técnica del TQ SOFT ADL 125

GLOSARIO DE TÉRMINOS

$A =$ Área de la superficie bañada por el fluido $[m^2]$

$A_s =$ Área de transferencia de calor del tubo [m^2]

$\beta =$ Coeficiente de expansión volumétrica $[°K^{-1}]$

C_P= Calor específico a presión constante $[kJ * kg/K]$

$D =$ Diámetro de la tubería [m]

$D_{ext} =$ Diámetro exterior del tubo [m]

$\frac{dT}{dx} =$ Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor [°K/m]

$\varepsilon =$ Rugosidad del material [m]

$f =$ Factor de fricción

g= Gravedad $[m/s^2]$

$h_1 =$ Entalpía inicial [kJ/kg]

$h_2 =$ Entalpía final [kJ/kg]

$h =$ Coeficiente de transmisión de calor por convección $[W/m^2 * °K]$

$h =$ Coeficiente de película o transmisión de calor por convección $[W/m^2 * °K]$

h_a= Energía removida del fluido por medio de accesorios.

H_B= Energía añadida al fluido por una bomba u otro dispositivo.

h_f= Pérdidas de energía por parte del fluido por efecto de fricción.

h_g= Entalpía a temperatura especifica [kJ/kg]

$K =$ Coeficiente de resistencia

$k =$ Conductividad térmica del material $[W/m * °K]$

$L =$ Longitud de la tubería [m]

$\dot{m}$= Flujo másico kg/s

η = Viscosidad dinámica [kg/m*s]

Nu = Número de Nusselt

η_{ter} = Eficiencia térmica

σ = Constante de Stefan Boltzmann [W/m^2*K^4]

Pot = Potencia necesaria para operar la bomba [W]

P_r = Número de Prandtl

$\dot{Q}$ = Cantidad de energía transmitida [W]

Q_{entra} = Energía liberada total que entra en el sistema

$\dot{Q}_{cond}$ = Flujo de calor [W]

$\dot{Q}_{cond,\ cil}$ = Flujo de calor del cilindro [W]

$\dot{Q}_{conv}$ = Flujo de calor [W]

Q_{util} = Energía aprovechada por el sistema

Q = Caudal [m^3/s]

r_1 = Radio interno del cilindro [m]

r_2 = Radio externo del cilindro [m]

R_{cil} = Resistencia cilíndrica [°K/W]

Ra_D = Número de Rayleigh

Re = Número de Reynolds

t= Tiempo [s]

T_1 = Temperatura en el radio interno r_1 [°K]

T_2 = Temperatura en el radio interno r_2 [°K]

T_{alred} = Temperatura del ambiente [℃]

T_{fluido} = Temperatura del fluido en un punto específico (suele estar alejada de la superficie) [°K]

$T_p =$ Temperatura de película del sistema [°C]

$T_{sub} =$ Temperatura de la superficie [°K]

$T_{sup} =$ Temperatura superficial [°C]

ΔT= Diferencia de temperaturas [K]

v= Velocidad del fluido [m/s^2]

γ= Peso específico del fluido [N/m^3]

$\upsilon =$ Viscosidad cinemática [m^2/s]

$v_f =$ Volumen específico [m^3/kg]

RESUMEN EJECUTIVO

El desperdicio de condensados representa un desafío ambiental significativo que exige la atención de las industrias lácteas. Esta investigación propone diseñar un sistema de recuperación de condensados con el objetivo de minimizar las pérdidas generadas en las distintas áreas de producción de la industria Lácteos Marco´s.

Se recopiló información acerca de las características técnicas, especificaciones y componentes principales de las calderas y equipos involucrados en el proceso de producción. Se evaluó la producción actual de vapor, los condensados desperdiciados y las pérdidas de calor. A partir de un análisis comparativo de alternativas, se seleccionó el sistema venteado, el cual incluye un tanque de recolección que se desarrolló mediante un software CAD, además se seleccionaron componentes clave, como válvulas reguladoras de flujo, bombas de condensado y tuberías; este sistema está diseñado para aprovechar el calor del condensado generado durante el proceso de esterilización UHT, logrando disminuir el consumo de diésel y agua natural en las calderas. Esto no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a un modelo de producción más sostenible.

Como resultado el sistema propuesto estimó ahorros significativos, logrando una reducción del 9.27 por ciento en el consumo de combustible y del 2.10 por ciento en el uso de agua, lo que disminuye los costos operativos y refuerza el compromiso ambiental de la planta. Además, como parte del diseño, se realizaron cálculos termodinámicos, de transferencia de calor, mecánicos y de rendimiento se validó la eficiencia del sistema, asegurando su viabilidad técnica y económica en la industria láctea.

Palabras clave: Condensados, industria láctea, vapor, esterilización UHT, tanque recolector, optimización de recursos, sostenibilidad.

ABSTRACT

Condensate waste represents a significant environmental challenge that requires the attention of dairy industries. This research proposes to design a condensate recovery system with the aim of minimizing the losses generated in the different production areas of the Lácteos Marco´s industry.

Information was collected about the technical characteristics, specifications and main components of the boilers and equipment involved in the production process. The current steam production, wasted condensates and heat losses were evaluated. Based on a comparative analysis of alternatives, the vented system was selected, which includes a collection tank that was developed using CAD software, and key components were selected, such as flow regulating valves, condensate pumps and pipes; this system is designed to take advantage of the heat of the condensate generated during the UHT sterilization process, achieving a decrease in the consumption of diesel and natural water in the boilers. This not only improves operational efficiency, but also contributes to a more sustainable production model.

As a result, the proposed system estimated significant savings, achieving a 9.27 percent reduction in fuel consumption and 2.10 percent in water use, which reduces operating costs and reinforces the plant's environmental commitment. In addition, as part of the design, thermodynamic, heat transfer, mechanical and performance calculations were performed and the efficiency of the system was validated, ensuring its technical and economic viability in the dairy industry.

Keywords: Condensates, dairy industry, steam, UHT sterilization, collection tank, resource optimization, sustainability.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1.Antecedentes investigativos

1.1.1. Antecedentes

La industria láctea es una de las más importantes y dinámicas a nivel mundial debido a su gran impacto económico, nutricional y social. La leche y sus productos constituyen un alimento esencial a nivel global para la humanidad, ya que aportan proteínas y minerales esenciales para el crecimiento y el mantenimiento humano [1]. Según [2] destacan el interés en los impactos ambientales derivados de la producción de alimentos principalmente en la industria láctea es cada vez mayor. Los condensados del procesamiento de alimentos generan un alto volumen de efluentes debido al consumo de agua y enfrentan problemas crecientes en relación con los productos de desecho del proceso de producción [3].

La sostenibilidad es esencial para las decisiones en el desarrollo y la gestión de la industria láctea, la recuperación de los condensados producidos resulta altamente beneficioso. Barma. M, Saidur. R y Akas. B, en su estudio realizado mencionan que estos condensados deben ser recuperados mediante técnicas mecánicas con el objetivo principal de proporcionar agua de calidad para alimentación a las calderas, hicieron un análisis de los condensados obtenidos en los flash coolers que operaban en la fábrica, tomando muestras, durante semanas, en distintos momentos de los ciclos, demostrando que es factible que estos condensados sean recuperados y reutilizados en nuevos lotes de producción, debido a sus niveles bajos de contaminación [4].

La recuperación de estos condensados ayuda a reducir el desperdicio de agua y también disminuye un 25% aproximadamente en los costos de combustible usado en las calderas, bajan las pérdidas de energía durante el proceso de purga [1]. Según [2] mencionan que la sostenibilidad no solo es un complemento adicional o aislado, sino un componente integrado y relacionado a las operaciones corporativas de cada industria.

1.1.2. Justificación

El sector industrial y sus diversos procesos de producción son los responsables de aproximadamente el 70% del consumo excesivo de energía y del 61% de las emisiones totales de dióxido de carbono [5]. Principalmente en las industrias lácteas cerca del 80% de sus necesidades en el área de producción requieren de la combustión de diésel para la generación de vapor. Esta necesidad de diésel se observa en actividades críticas como: la recolección y transporte de la leche, filtración y clarificación, pasteurización, tratamiento Ultra High Temperature (UHT) y homogenización [6].

El vapor es ampliamente utilizado en diversas etapas de producción, sin embargo, el condensado generado como subproducto es a menudo descartado sin aprovechar su potencial energético [7]. Este desperdicio no solo conlleva a un aumento en los costos operativos, sino que también contribuye a una huella ambiental de mayor consumo de recursos energéticos [8] [9]. El proceso UHT es el mayor punto de consumo de energía con un 89.1% del total [10]. Por lo que la planta de producción de Lácteos Marco’s enfrenta un desafío importante en términos de eficiencia energética, debido al desperdicio de condensados durante sus procesos productivos, los cuales son simplemente desechados hacia el alcantarillado, sin darlos un uso adecuado.

Por lo tanto, la investigación actual busca diseñar un sistema de recuperación de condensados que capture el calor latente del vapor condensado, reduciendo así la necesidad de generar nuevo vapor y logrando un ahorro significativo de energía [11]. Además, al disminuir la demanda de agua natural en la Planta Láctea Marco’s, se mejora la eficiencia general de la producción. Esta solución no solo reduce los costos operativos a largo plazo, sino que también impulsa una operación más sostenible y amigable con el medio ambiente.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de recuperación de condensados para la Planta de Producción de Lácteos Marco's.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar las condiciones de operación de las calderas y equipos consumidores de vapor.
- Analizar diferentes alternativas de diseño para desarrollar el sistema de recuperación de condensados en la industria láctea.
- Proponer un diseño eficiente para la recuperación de condensados de vapor de agua que se liberan durante los procesos de producción.

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Transferencia de calor

La transferencia de calor se centra en analizar y predecir cómo se mueve la energía entre diferentes cuerpos materiales debido a las diferencias de temperatura, en términos termodinámicos, esta energía que se transfiere se denomina calor. Este campo no solo busca describir cómo ocurre el intercambio térmico, sino también estimar la rapidez con la que esto sucede bajo ciertas condiciones específicas [12].

La diferencia entre la transferencia de calor y la termodinámica es que la transferencia de calor se centra en estudiar procesos específicos de intercambio de energía, mientras que la termodinámica se ocupa de sistemas que están en equilibrio.

1.3.2. Conducción

La transferencia de calor por conducción es un proceso de difusión que ocurre por contacto directo, donde la energía térmica fluye desde una zona de mayor temperatura hacia una de menor temperatura a través de un material. Este fenómeno se produce por el intercambio de energía entre las moléculas del material, que transfieren calor de una región a otra [12].

$$\dot{Q}_{cond} = -k * A * \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Donde:

$\dot{Q}_{cond}$ = Flujo de calor [W]

k = Conductividad térmica del material [W/m $*$°K]

A = Área de la superficie [m^2]

$\frac{dT}{dx}$ = Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor [°K/m]

1.3.2.1. Conducción de calor en cilindros

La conducción en cilindros es un proceso donde el calor se transfiere radialmente desde la superficie exterior hacia el centro del cilindro, en este tipo de geometría, la tasa de transferencia de calor depende de la conductividad térmica del material, el gradiente de temperatura y el grosor del cilindro [12].

$$\dot{Q}_{cond,\ cil} = \frac{T_1 - T_2}{R_{cil}} \quad (2)$$

Donde:

$\dot{Q}_{cond,\ cil}$ = Flujo de calor [W]

T_1 = Temperatura en el radio interno r_1 [°K]

T_2 = Temperatura en el radio interno r_2 [°K]

R_{cil} = Resistencia cilíndrica [°K/W]

- **Resistencia cilíndrica**

La resistencia térmica de una capa cilíndrica es la oposición al flujo de calor por conducción, determinada por el material, grosor y dimensiones del cilindro [12].

$$R_{cil} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi * L * k} \quad (3)$$

Donde:

R_{cil} = Resistencia cilíndrica [°K/W]

r_1 = Radio interno del cilindro [m]

r_2 = Radio externo del cilindro [m]

L = Longitud del cilindro [m]

k = Conductividad térmica del material [W/m* °K]

1.3.3. Convección

La convección es un mecanismo de transferencia de calor que implica el movimiento de un fluido, ya sea líquido o gas, para transportar la energía térmica desde una zona caliente hacia una más fría. Este proceso puede ocurrir de manera espontánea o ser inducido por dispositivos mecánicos [12].

Existen tres tipos principales de convección:

- Convección natural o libre: Ocurre de forma espontánea debido a las diferencias de densidad causadas por variaciones de temperatura en el fluido.
- Convección forzada: El movimiento del fluido es impulsado por una fuente externa, como un ventilador o una bomba, que genera una diferencia de presión.
- Convección con cambio de fase: Se produce cuando el fluido experimenta un cambio de fase, como en los procesos de evaporación o condensación.

$$\dot{Q}_{conv} = h * A * (T_{sub} - T_{fluido}) \quad (4)$$

Donde:

$\dot{Q}_{conv}$ = Flujo de calor [W]

h = Coeficiente de transmisión de calor por convección [$W/m^2 * °K$]

A = Área de la superficie bañada por el fluido [m^2]

T_{sub} = Temperatura de la superficie [°K]

$T_{fluido} =$ Temperatura del fluido en un punto específico (suele estar alejada de la superficie) [°K]

1.3.4. Eficiencia energética

La eficiencia térmica es la medida de cuanta energía es aprovechada útilmente del total que es liberada por la combustión, este puede tener pérdidas de energía en el sistema de varias formas.

$$\eta_{ter} = \frac{Q_{util}}{Q_{entra}} * 100\ \% \quad (5)$$

Donde:

$\eta_{ter} =$ Eficiencia térmica

$Q_{util} =$ Energía aprovechada por el sistema

$Q_{entra} =$ Energía liberada total que entra en el sistema

1.3.5. Propiedades termodinámicas

- Temperatura (T): La temperatura mide la energía cinética promedio de las partículas en un sistema. Afecta propiedades físicas y químicas, determinando cambios de fase y el equilibrio térmico, fundamental en el análisis de sistemas termodinámicos [°K] [13].
- Presión (P): La presión es la fuerza ejercida por un fluido por unidad de área sobre las paredes de su contenedor. Afecta el comportamiento de gases y líquidos, influyendo en la densidad, volumen y en procesos de expansión y compresión [Pa] [13].
- Volumen (V): El volumen es el espacio tridimensional que ocupa un sistema, expresado en litros o metros cúbicos. Es esencial para determinar la cantidad de sustancia presente y para calcular trabajos realizados en procesos de expansión y compresión [m^3] [13].

- Energía Interna (U): La energía interna es la suma de la energía cinética y potencial de todas las partículas en un sistema. Depende de la temperatura y el volumen, y es clave para analizar cambios energéticos en procesos termodinámicos [J][13].
- Entalpía (H): La entalpía es la cantidad de energía que un sistema termodinámico intercambia con su medio ambiente en condiciones de presión constante, es decir, la cantidad de energía que el sistema absorbe o libera a su entorno en procesos en los que la presión no cambia [J][13].
- Entropía (S): La entropía mide el desorden o aleatoriedad en un sistema. Un aumento indica mayor dispersión de energía y es fundamental en la segunda ley de la termodinámica, ayudando a predecir la dirección de procesos naturales [J/°K] [13].

1.3.6. Ecuación de la energía

Según [14] en su libro "Mecánica de Fluidos" menciona que, para analizar el flujo de los condensados a través de tuberías y componentes del sistema por medio de la siguiente ecuación:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} + H_B - h_a - h_f = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g} \quad (6)$$

Donde:

P_1 y P_2 = Presión estática del fluido $[N/m^2]$

γ= Peso específico del fluido $[N/m^3]$

v_1 y v_2= Velocidad del fluido $[m/s]$

g= Gravedad $[m/s^2]$

z_1 y z_2= Altura vertical sobre un plano de referencia [m]

H_B= Energía añadida al fluido por una bomba u otro dispositivo.

h_a= Energía removida del fluido por medio de accesorios.

h_f= Pérdidas de energía por parte del fluido por efecto de fricción.

1.3.7. Cálculo del caudal

Consiste en determinar la cantidad de fluido que atraviesa una sección en un tiempo específico, se mide generalmente como volumen o masa por unidad de tiempo y depende de la velocidad del fluido y el área de la sección transversal [14].

$$Q = A * v = \frac{V}{t} \tag{7}$$

Donde:

$Q =$ Caudal $[m^3/s]$

A= Área de la sección transversal [m]

v= Velocidad del fluido $[m/s^2]$

t= Tiempo [s]

1.3.8. Pérdidas primarias (fricción)

Las pérdidas por fricción en tuberías son la disminución de presión que sufre un fluido al moverse a través de una tubería, resultado de la resistencia generada entre el fluido y las paredes internas. Esta fricción convierte parte de la energía en calor, reduciendo la presión y la eficiencia del sistema de transporte de fluidos [14].

Para flujo laminar:

$$h_f = \frac{32 * \eta * L}{\gamma * D^2} \tag{8}$$

Donde:

$h_f =$ Pérdidas de energía por parte del fluido por efecto de fricción.

$\eta =$ Viscosidad dinámica [kg/m*s]

$L =$ Longitud de la tubería [m]

$\gamma =$ Peso específico $[N/m^3]$

$D =$ Diámetro de la tubería [m]

Para flujo turbulento:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2\,g} \tag{9}$$

Donde:

h_f= Pérdidas de energía por parte del fluido por efecto de fricción.

f = Factor de fricción

L = Longitud de la tubería [m]

D = Diámetro de la tubería [m]

v = Velocidad del fluido [m/s^2]

g = Gravedad [9.81 m/s^2]

- **Número de Reynolds (Re)**

Es un parámetro adimensional que indica si el flujo en una tubería es laminar o turbulento, se calcula como la relación entre fuerzas inerciales y viscosas del fluido. Cuando Re < 2000 el flujo es laminar, si Re > 4000 el flujo es turbulento y entre 2000 < Re < 4000 existe una zona de transición [14].

$$Re = \frac{v * D}{\upsilon} \tag{10}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

v = Velocidad del fluido [m/s^2]

D = Diámetro de la tubería [m]

υ = Viscosidad cinemática [m^2/s]

- **Factor de fricción (*f*)**

El factor de fricción en tuberías cuantifica la resistencia al flujo de un fluido debido a la fricción con las paredes. En flujo laminar, se calcula directamente con una fórmula mientras que, para flujo turbulento, se usa el diagrama de Moody o ecuaciones para obtener el factor con precisión [14].

Para flujo laminar:

$$f = \frac{64}{\mathrm{Re}} \tag{11}$$

Donde:

$f =$ Factor de fricción

$\mathrm{Re} =$ Número de Reynolds

Para flujo turbulento:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{\mathrm{D}}{\epsilon}\right)} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2} \tag{12}$$

Donde:

$f =$ Factor de fricción

$\varepsilon =$ Rugosidad del material [m]

$\mathrm{D} =$ Diámetro de la tubería [m]

$\mathrm{Re} =$ Número de Reynolds

1.3.9. Pérdidas secundarias (accesorios)

Las pérdidas de energía en un sistema de tuberías son proporcionales a la velocidad del fluido al atravesar elementos como codos, ampliaciones, contracciones o válvulas.

Estas pérdidas se expresan generalmente mediante un coeficiente de resistencia K, que cuantifica la reducción de presión en función de la velocidad del flujo [14].

$$h_a = K\left(\frac{v^2}{2g}\right) \tag{13}$$

Donde:

h_a= Energía removida del fluido por medio de accesorios.

$K =$ Coeficiente de resistencia

$v =$ Velocidad de flujo promedio [m/s^2]

$g =$ Gravedad [m/s^2]

1.3.10. Balance de energía para sistemas de flujo estacionario

Según [12] en su libro "Transferencia de calor y masa" menciona que, para medir el flujo de calor en función de la temperatura se utiliza la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m} * \Delta h = \dot{m} * C_P * \Delta T \tag{14}$$

Donde:

$\dot{Q}$= Calor transferido por unidad de tiempo [kJ/s]

$\dot{m}$= Gasto de masa [kg/s]

C_P= Calor específico a presión constante [kJ $*$ kg/K]

ΔT= Diferencia de temperaturas [K]

1.3.11. Velocidades máximas permisibles de flujo de líquido y vapor en tuberías

Un elemento crucial en el diseño del sistema de tuberías es la velocidad del fluido que circula por su interior. En el caso de fluidos incompresibles que se desplazan a temperatura constante, esta velocidad depende del caudal y del diámetro interno de las tuberías. Cada tipo de fluido tiene una velocidad máxima permitida tanto para líquidos (ver Tabla 1) como para vapor (ver Tabla 2), que no debe excederse para evitar posibles daños al producto debido a un tratamiento mecánico incorrecto [15].

Tabla 1. Velocidades máximas permisibles de líquidos en tuberías (m/s*)*

	D ≤ 2”	**3” < D < 10”**	**10” < D < 20”**
Agua			
Succión bomba	0,3 - 0,6	0,6 - 1,2	1 - 2
Descarga bomba	0,5 - 1	1 - 1,5	1,2 - 2
Alimentación caldera	1,2 - 3	1,5 - 3,5	2,5 - 4,2
Desagües	1 - 1,2	1 - 1,5	_
Hidrocarburos líquidos			
Succión bomba	0,5 - 0,75	0,6 - 1,2	1 - 2
Desagües	1 - 1,2	1 - 1,5	_
Aceites viscosos			
Succión bomba (viscosidad media)	_	0,5 - 1	0,75 - 1,5
Succión bomba (alquitrán y fuel-oil)	_	0,1 - 0,2	0,15 - 0,30
Descarga	_	1 - 1,5	1,2 - 1,8
Desagües		0,5 - 1	_

Fuente: [15]

Tabla 2. Velocidades máximas permisibles de gases y vapores en tuberías (m/s).

Diámetro nominal (pulgadas)	**Vapor saturado (baja presión)**	**Vapor sobrecalentado o gas**	
		(media presión)	**(alta presión)**
≤ 2	13 - 30	12 – 24	9 - 18
3 - 4	15 - 33	13 – 27	10 - 20
6	18 - 36	15 – 36	13 - 27
8 - 10	20 - 38	24 – 48	20 - 38
12 - 14	21 - 39	30 – 57	24 - 43
16 - 18	23 - 40	33 – 63	27 - 48
20	24 - 42	26 – 66	30 - 50

Fuente: [15]

1.3.12. Selección de bombas

1.3.12.1. Bombas de condensado

- **Bombas de condensado eléctricas centrífugas**

Las bombas de condensado eléctricas centrífugas se utilizan en sistemas de vapor para impulsar condensado mediante la fuerza centrífuga generada por un rodete, donde el líquido entra por el centro del rodete, aumentando su velocidad, y es dirigido hacia una carcasa de tipo voluta o con álabes difusores, que transforman esa velocidad en presión. Son ideales para aplicaciones que requieren el manejo de grandes volúmenes de condensado, como en la recolección de líquidos de diversos procesos [16].

Cuando existe una presión diferencial negativa entre el origen y el destino, las bombas centrífugas o turbinas pueden incrementar la presión del condensado, permitiendo su transporte a largas distancias. El condensado se almacena primero en un tanque y luego es bombeado hacia su punto de reutilización. Es crucial considerar la Cabeza de Succión Neta Positiva Disponible (NPSHA) y la Cabeza Dinámica Total (TDH) al dimensionar estas bombas, debido a que el NPSHA debe ser mayor o igual a la NPSHR para evitar cavitación, mientras que la Presión Total de Descarga (TDP) debe superar la TDH del sistema. Cumpliendo estos criterios, las bombas eléctricas pueden manejar grandes volúmenes de condensado a altas presiones, incluso permitiendo el retorno del condensado a la caldera en condiciones de alta presión [17].

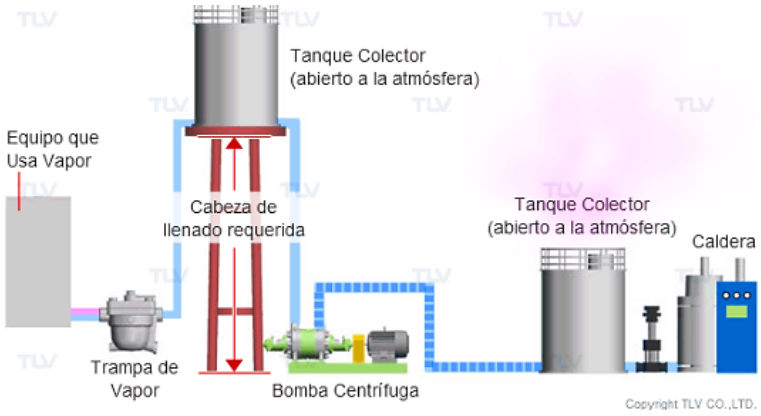


Figura 1. Bombas de condensado eléctricas centrífugas

Fuente: [17]

- **Bombas de condensado mecánicas**

Las bombas de condensado mecánicas fueron diseñadas para superar las limitaciones de las bombas eléctricas, como la cavitación, utilizan un sistema de desplazamiento positivo en lugar de la rotación de álabes, lo que elimina el riesgo de cavitación y las hace menos sensibles a variaciones en la contrapresión. Su operación no requiere electricidad, lo que las convierte en una opción segura para áreas a prueba de explosiones [16].

Presenta un diseño que incluye un cuerpo donde el condensado cae por gravedad y un flotador con válvulas automáticas. Cuando el vapor presuriza el cuerpo, el condensado es forzado a salir hacia la línea de retorno, trabajan a temperaturas superiores a 100ºC y evacuan condensado de equipos de vacío. Su operación cíclica requiere un depósito receptor para almacenar el condensado entre bombeos, lo que las convierte en una opción preferida para la recuperación de condensado en aplicaciones industriales [17].

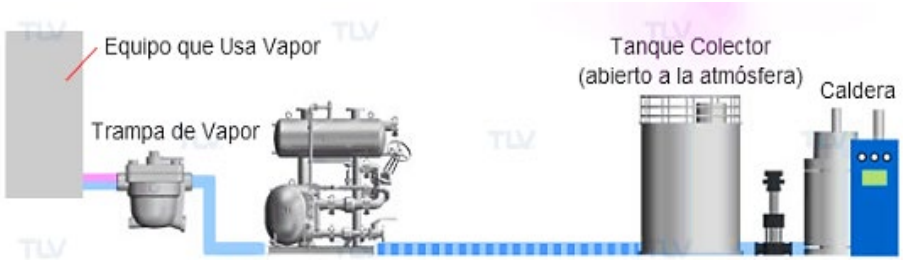


Figura 2. Bomba de condensados mecánica

Fuente: [16]

- **Potencia requerida de una bomba**

La potencia requerida para operar una bomba relaciona el caudal, la energía añadida por una bomba, el peso específico del fluido y viscosidad dinámica. Es crucial para dimensionar correctamente la bomba y determinar cuánta energía se necesita para mover el fluido eficazmente [14].

$$\text{Pot} = \frac{\gamma * Q * H_B}{\eta} \tag{15}$$

Donde:

$\mathrm{Pot} =$ Potencia necesaria para operar la bomba [W]

H_B= Energía añadida al fluido por una bomba u otro dispositivo.

γ= Peso específico del fluido $[\mathrm{N/m^3}]$

$\mathrm{Q} =$ Caudal $[\mathrm{m^3/s}]$

$\eta =$ Viscosidad dinámica [kg/m*s]

1.3.13. Consumo de agua en la industria alimentaria

La industria alimentaria sobresale entre todas las actividades industriales por su alto consumo de agua y la generación de grandes volúmenes de efluentes por unidad de producción. Según datos proporcionados por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), las industrias alimentarias son las responsables de consumir el 70% del total de agua utilizada a nivel mundial, lo que resalta la importancia de adoptar prácticas sostenibles en estas industrias para preservar este recurso vital [18].

Entre los alimentos que más agua requieren para su producción destacan, la leche, el yogurt y el queso que son fundamentales en muchas dietas a nivel global. La producción de un litro de leche demanda aproximadamente 1000 litros de agua, este elevado consumo se debe a varios factores, incluyendo el agua necesaria para cultivar los alimentos que consumen las vacas, el agua utilizada directamente en el proceso de ordeño, la limpieza y mantenimiento de los equipos en las plantas procesadoras y sobre todo el paso del agua dentro de las calderas para realizar el proceso de pasteurización, más conocido como leche UHT (Ultra High Temperature) [19].

El yogurt, un derivado directo de la leche, también comparte un considerable costo hídrico. La producción de un litro de yogurt requiere alrededor de 1000 a 1200 litros de agua, esto incluye no solo el agua necesaria para producir la leche, sino también el agua empleada en la fermentación y procesamiento del producto final [20].

Para producir un kilogramo de queso, se necesitan entre 5000 y 5500 litros de agua, esta alta demanda se debe a que el queso es un producto concentrado, el cual requiere grandes cantidades de leche para su elaboración [21].

En Ecuador según estudios del INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos) la provincia de Tungurahua es una región con gran producción lechera, particularmente en sus paramos en la cordillera oriental de los Andes. Las industrias en esta provincia diariamente generan 484.747 litros de leche, los cuales son destinados a plantas procesadoras localizadas en la región central y norte del país. Para esta considerable producción el consumo de agua es elevado en cada uno de los procesos dentro de las industrias, principalmente en las calderas de vapor que se encargan de los procesos de pasteurización a altas temperaturas [22].

1.3.14. Proceso UHT en una industria láctea

El Proceso Ultra High Temperature (UHT) representa un proceso continuo de esterilización térmica diseñado para garantizar una prolongada conservación del producto, incluso a temperatura ambiente. Mediante la aplicación de altas temperaturas por medio del vapor, por un breve lapso, típicamente 140°C durante 4 segundos, se logra minimizar el deterioro químico de los nutrientes y componentes funcionales presentes en la leche y otros productos lácteos, al tiempo que se reduce el desarrollo de sabores amargos. La leche y sus derivados tratados mediante este proceso no pierden su aporte nutricional, ni otro beneficio adicional [23].

Sin embargo, después de cumplir con el proceso UHT, este vapor disminuye su temperatura y se convierte en condensados, los cuales son eliminados como desechos líquidos a través de los drenajes [24]. De la misma de la forma, el vapor se condensa en su totalidad, la temperatura se estabiliza por completo, y las pérdidas de energía se consideran despreciables.

1.3.15. Condensados en la industria láctea

El consumo de agua en la industria láctea es mayor en comparación con otras industrias, en particular se generan condensados en sus diversos procesos de producción, los cuales pueden ser considerados como efluentes de baja carga contaminante o como un recurso valioso. Su recuperación, incluso en cantidades mínimas, resulta económicamente viable para las industrias [25].

Las calderas de vapor en la industria láctea son los principales consumidores de agua, energía y combustible para la producción de vapor, el cual posteriormente será utilizado principalmente en los procesos de pasteurización de la leche para someterla a altas temperaturas (UHT), de la misma forma, este vapor se utiliza para la producción de los derivados de la leche bajo tratamiento térmico, al finalizar su recorrido el vapor generado por las calderas se convierte en condensados que generalmente son desechados a las alcantarillas, esto ocurre en una infinidad de industrias [25].

Sin embargo, estudios recientes realizados por el autor Deeth, quien manifesta que los condensados generados en los tratamientos directos de ultra alta temperatura (UHT) pueden ser caracterizados y analizados con el objetivo de obtener agua que podría ser reutilizable, considerando las restricciones asociadas a sus posibles aplicaciones finales [26].

Según [27] manifiesta que estos condensados pueden ser reutilizados para los procesos de producción de lácteos, al ser recolectados en el tanque alimentador de condensados los cuales posteriormente pasaran a las calderas. De la misma forma los autores mencionan que no todos los condensados que son eliminados pueden ser reutilizados, primero es importante asegurarse de que el agua condensada no esté contaminada con ningún tipo de impurezas, residuos o microorganismos que puedan comprometer la calidad.

1.3.16. Calderas en la industria láctea

Las plantas de producción de alimentos y lácteos generalmente emplean vapor a presiones nominales de 100 a 135 psi, generado mediante calderas pirotubulares.

Existen diversas opciones de equipamiento para optimizar el consumo de energía en estos procesos [28].

Una caldera es un recipiente cerrado en el que el agua, bajo presión, se convierte en vapor mediante la aplicación de calor. En la cámara de combustión, la energía química del combustible se transforma en calor, y es función de la caldera transferir este calor al agua de la manera más eficiente posible. Las calderas de gran tamaño se diseñan para operar a diferentes presiones y temperaturas, según la aplicación y el ciclo térmico para el cual han sido diseñadas [28].

Los tipos de calderas generalmente se clasifican en Pirotubular o (de tubos de Humo) y Acuatubular o (de tubos de Agua).

1.3.16.1. Caldera Pirotubular

Las calderas pirotubulares son ideales para aplicaciones industriales de baja a media demanda de vapor. En este diseño, los gases de combustión circulan por dentro de los tubos, mientras que el agua los rodea. Estas calderas son conocidas por su simplicidad, facilidad de operación y bajo costo. Sin embargo, su capacidad de generación de vapor es limitada, lo que las hace menos eficientes para aplicaciones de gran escala [29].

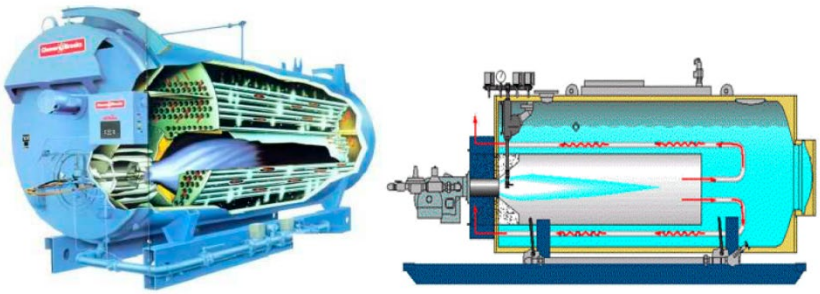


Figura 3. Caldera Pirotubular

Fuente: [29]

Las calderas pirotubulares se desarrollaron principalmente en dos modelos:

- **Horno Horizontal**

Las calderas horizontales destacan por su bajo costo inicial y su diseño sencillo, lo que las convierte en una opción común en sistemas de calefacción de edificios y en la generación de vapor en pequeñas fábricas. Están compuestos por un cuerpo cilíndrico que actúa como depósito de agua, con paredes terminales gruesas (tapas extremas) [30].

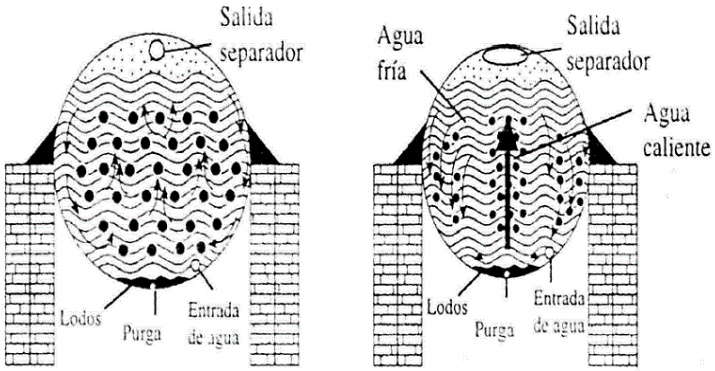


Figura 4. Caldera de horno horizontal

Fuente: [30]

- **Horno Interno o Tipo Escocés**

En las calderas tipo escocés, la combustión ocurre en un horno cilíndrico ubicado dentro del cuerpo o tambor de la caldera. Este diseño permite una mayor eficiencia en la transferencia de calor, ya que los gases calientes pasan a través de los tubos de humo, cediendo su energía térmica al agua contenida en el casco [30].

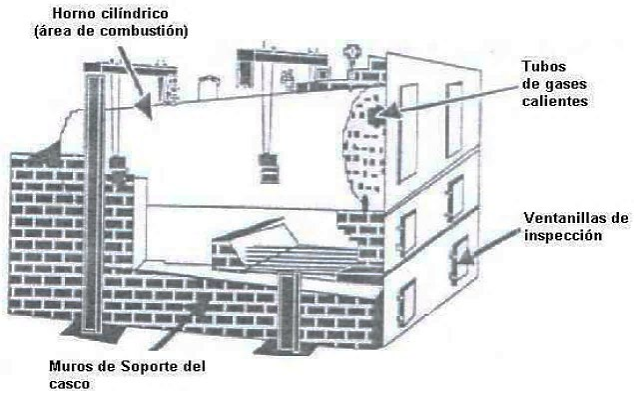


Figura 5. Caldera de horno interno

Fuente: [30]

1.3.16.2. Caldera Acuotubular

Las calderas acuotubulares son utilizadas en aplicaciones de gran escala que requieren altas presiones y grandes volúmenes de vapor. En estas calderas, el agua circula por el interior de los tubos, mientras que los gases de combustión fluyen por fuera. Este diseño permite una rápida transferencia de calor y una alta eficiencia [31].

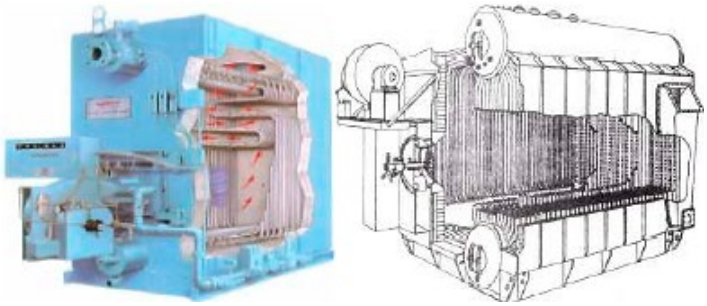


Figura 6. Caldera Acuotubular

Fuente: [31]

1.3.17. Consumo de combustible en las calderas

La producción de vapor es un elemento crucial para llevar a cabo los diferentes procesos, debido a la elevada y constante demanda de vapor en la planta láctea resulta en un consumo significativo de combustible. Este uso intensivo de energía es vital para mantener la operación eficiente y garantizar la calidad de los productos lácteos. En la

cámara de combustión de una caldera, se quema combustible y el calor producido se transfiere a través de los gases de combustión calientes al agua. A medida que los gases de combustión calientes transfieren calor al agua por convección, una parte importante del calor se pierde a través de los gases de combustión salientes [32].

Este consumo de combustible representa una parte considerable de los recursos térmicos necesarios para la planta. Además, contribuye a la huella de carbono de la industria debido a las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la quema de combustibles fósiles. Por lo tanto, la gestión del consumo de combustible es fundamental para equilibrar la eficiencia operativa con la sostenibilidad ambiental, mejorando la eficiencia de las calderas se ahorrará una gran cantidad de combustible y se reducirán las emisiones de CO_2 [33].

1.3.18. Producción más limpia en la industria láctea

Esta implica la aplicación constante de enfoques y tácticas preventivas que se integran en los procesos de producción y servicios para mejorar la eficiencia ecológica. Su objetivo principal es reducir los riesgos para la salud humana y el medio ambiente al disminuir las descargas a la alcantarilla y la contaminación del aire, así como mitigar el impacto ambiental de la producción industrial [34]. Además, busca mejorar la competitividad y la participación empresarial en el mercado. Un uso inapropiado de energía conlleva a la disminución de los recursos naturales, los cuales están actualmente en escasez y provoca un incremento en la contaminación del aire debido a la liberación de gases durante la generación de energía. Es importante considerar que estas emisiones contribuyen al fenómeno del efecto invernadero [35].

Se centra en aumentar la productividad de las empresas mediante el uso eficiente de materias primas, agua y energía, con el objetivo de reducir los desechos y las emisiones directamente en el sitio de producción, para no tratarlos posteriormente. Esto contribuye a mejorar los procesos productivos de manera que sean más favorables para el medio ambiente y rentables a lo largo del ciclo de vida del producto [36]. La implementación de esta producción limpia en los procedimientos industriales abarca la preservación y el mantenimiento adecuado de los recursos naturales, el empleo

eficiente del agua y la energía, la disminución de residuos nocivos y emisiones tóxicas, además del tratamiento apropiado de los desechos generados durante los procesos productivos [33].

1.3.19. Sistema de recuperación de condensados como alternativa para la optimización del consumo energético

Un sistema de recuperación de condensados se encarga de recolectar y reciclar el agua condensada que se genera en los procesos de calentamiento y enfriamiento, como la pasteurización, esterilización, evaporación y otros procesos que implican el uso de vapor industrial [37]. Según [38] un buen sistema de recuperación de condensados se da después del tratamiento UHT directo, en donde diferentes tipos de leches y derivados de la misma se procesan con el propósito de alargar su vida útil. El retorno de estos condensados al tanque de alimentación y posteriormente a las calderas es reconocido como el método más eficaz de ayudar con la eficiencia de la planta de vapor, la cual permitirá el ahorro de energía, de combustible e incluso contribuirá con el medioambiente al reducir la producción de efluentes y CO_2 [39].

El retorno de los condensados de los diferentes procesos lleva a considerables ahorros de energía y agua en cualquier planta industrial que en sus procesos de producción utilicen vapor. Según [40] es necesario que se implemente un sistema eficiente de retorno de los condensados que facilite su transporte desde los distintos equipos que utilizan vapor hasta la caldera, este gran aprovechamiento del condensado en una cierta temperatura reduce la cantidad de combustible que la caldera debe gastar para calentar este condensado y convertirlo de nuevo en vapor útil.

1.3.19.1. Sistemas venteados

El sistema de recuperación de condensados venteado es una solución eficaz para gestionar y reutilizar el calor contenido en el condensado procedente de los procesos de producción, se destaca por su simplicidad y bajo costo. El condensado generado por las trampas de vapor o bombas es dirigido a un tanque colector que está abierto a la atmósfera. Al estar abierto a la atmósfera, el tanque colector permite que el condensado

se libere a presión atmosférica, lo que significa que cualquier exceso de energía en forma de vapor flash se libera en el ambiente. Este vapor flash se genera cuando el condensado, que puede estar a alta temperatura, se despresuriza al entrar en contacto con la atmósfera [41].

Debido a esta despresurización, la temperatura máxima a la que se recupera el condensado en un sistema venteado es ligeramente inferior a 100 °C. Debido que, al alcanzar esta temperatura, parte del condensado se convierte en vapor. Sin embargo, el condensado recuperado puede aún ser reutilizado en diversas aplicaciones dentro de la industria, como agua de alimentación para la caldera, reduciendo así los costos operacionales [41].

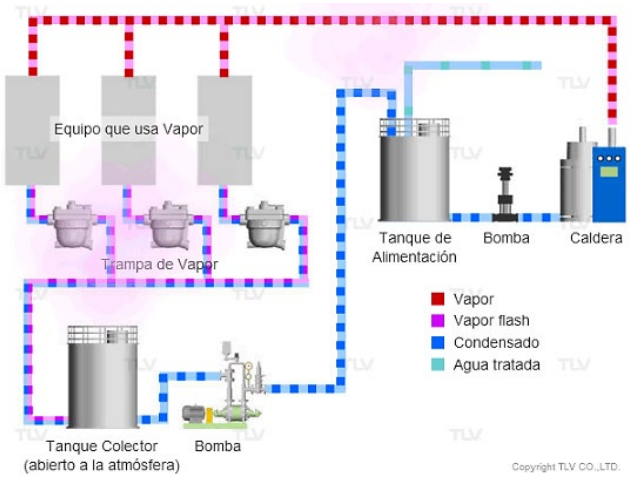


Figura 7. Sistema venteado

Fuente: [41]

1.3.19.2. Sistemas presurizados

El sistema presurizado tiene como objetivo mantener el condensado a una presión superior a la atmosférica durante todo el proceso de recuperación permitiendo una recuperación más eficiente del calor contenido en el condensado y optimiza su reutilización en la industria. Se basa en la recolección del condensado a través de trampas de vapor que dirigen el condensado a un tanque de almacenamiento que se mantiene a una presión controlada [41].

La presión adicional evita la conversión del condensado en vapor, permaneciendo a una temperatura más alta. Esto se logra mediante el uso de bombas que aseguran que el condensado se mantenga a la presión deseada. La reutilización del condensado recuperado se puede usar como agua de alimentación para las calderas. Además, mejora la eficiencia de las calderas y reduce la necesidad de utilizar agua fresca. Esto también contribuye a una disminución en el consumo de energía y a una reducción de los costos operativos [41].

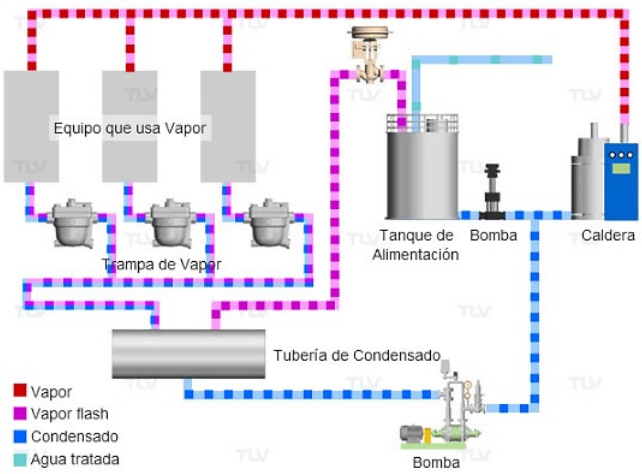


Figura 8. Sistema presurizado

Fuente: [41]

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Planta de Producción de Lácteos Marco's ubicada en la zona urbana del cantón Píllaro de la Provincia de Tungurahua se inició en 1994. Diariamente procesa 20000 litros de leche UHT, 1700 litros de yogurt y 280 kilogramos de queso.

2.2. Equipos y materiales

2.2.1. Condensados desperdiciados

Se midió la cantidad de condensado desperdiciado en la salida de las máquinas utilizadas en el proceso de producción de leche UHT, queso y yogurt.

2.2.2. Condensados recuperados

Los condensados se calcularon únicamente mediante fórmulas, basándose en la cantidad de condensado desperdiciado. A partir de estos datos, se determinó la cantidad que se recuperaría tras la implementación del sistema.

2.3. Procedimientos

2.3.1. Recolección de datos

Se realizó un análisis de los equipos involucrados en el proceso de producción, presentando de manera detallada las especificaciones técnicas de cada uno de ellos y toma de datos necesarios en sitio. Este enfoque permitió comprender mejor el funcionamiento de cada equipo.

2.3.1.1. Área de generación de vapor

- **Caldera principal**

La caldera principal se encarga de generar vapor para los diferentes procesos de producción, como la elaboración de leche UHT, queso y yogurt. Con ello garantiza las temperaturas adecuadas y asegura la calidad de sus productos lácteos (ver Anexo 1).



Figura 9. Caldera principal

Tabla 3. Datos técnicos de la caldera principal

Caldera principal	
Marca	York Shipley
Presión máxima	1034 kPa (150 psi)
Presión de operación	758 kPa (110 psi)
Potencia	125 BHP
Capacidad	4184000 BTU/h
Quemador	
Marca	Baltur
Potencia térmica máx.	1226 kW
Caudal máx.	110 Sm^3/h
Tensión	380 V

Fuente: [42], [43]

- **Motor y bomba de agua de la caldera principal**

El motor impulsa la bomba de agua que alimenta a la caldera principal, asegurando un flujo continuo de agua hacia el sistema, esta agua luego se convierte en vapor para los procesos productivos de la planta (ver Anexo 2).



Figura 10. Motor y bomba de la caldera principal

Tabla 4. Datos técnicos del motor y bomba de agua

Motor	
Marca	Weg
Modelo	213/5T
Potencia	10 hp
RPM	3520
Bomba	
Marca	Saer
Modelo	PMK40/10
Potencia	10 hp
RPM	360
Caudal	5 - 17 m^3/ h

Fuente: [44]

- **Caldera emergente**

La caldera emergente se activa cuando la caldera principal se encuentra en mantenimiento o no puede cubrir la demanda de vapor requerida. Su función es garantizar continuidad de la producción evitando interrupciones (ver Anexo 3).



Figura 11. Caldera emergente

Tabla 5. Datos técnicos de la caldera emergente

Caldera emergente	
Marca	Nacional
Presión máxima	120 psi
Potencia	80 BHP
Capacidad	2678000 BTU/h
Quemador	
Marca	Wayne
Motor	½ hp
Frecuencia	50 Hz
Capacidad	4 -13 GPH

Fuente: [45]

- **Bomba con motor de la caldera emergente**

Asegura el suministro de agua a la caldera emergente durante su operación. Su función es garantizar un flujo constante de agua para generar vapor cuando la caldera principal no está operativo (ver Anexo 4).



Figura 12. Bomba con motor de la caldera emergente

Tabla 6. Datos técnicos de la bomba con motor

Bomba con motor	
Marca	Thebe
Modelo	P-11/5 NR
Potencia	3 hp
RPM	3450

Fuente: [46]

- **Sistema de distribución de vapor**

El vapor producido en la caldera se conduce a un sistema de distribución, encargado de transportar este fluido a las áreas de producción que lo requieren. Este sistema está compuesto por dos tanques manifold. El primer tanque manifold recibe todo el vapor generado y lo envía al segundo tanque, que distribuye el vapor hacia diferentes zonas de producción, como el área de yogurt, queso y leche UHT. Ambos tanques cuentan con tubos de recepción, salida de vapor y válvulas para regular el flujo de manera eficiente.

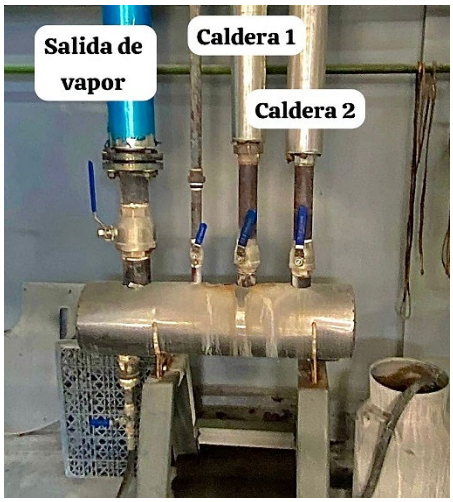


Figura 13. Tanque manifold 1

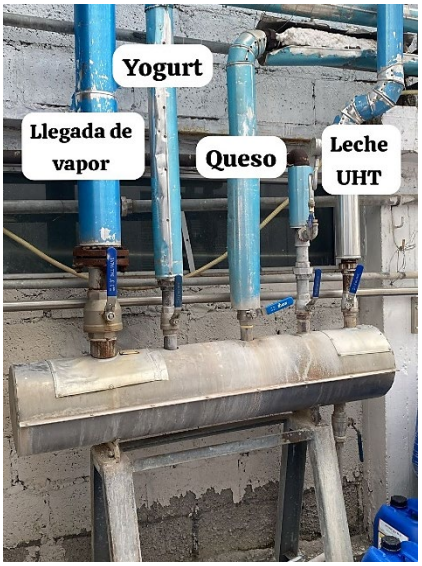


Figura 14. Tanque manifold 2

Tabla 7. Distribución de tuberías de los tanques manifold

Manifold 1		
Tubería	**Diámetro (in)**	**Longitud de tubería (m)**
Recepción de vapor Caldera 1	2	5
Recepción de vapor Caldera 2	2	5
Salida de vapor al manifold 2	3	40
Manifold 2		
Tubería	**Diámetro (in)**	**Longitud de tubería (m)**
Llegada de vapor del manifold 1	3	40
Queso	1 ½	10
Yogurt	1 ½	15
Leche UHT	1 ½	22

2.3.1.2. Área de producción de leche UHT

- **Esterilizador tubular UHT**

El esterilizador UHT calienta el producto lácteo a temperaturas altas durante unos segundos, inactivando microorganismos. Este proceso utiliza vapor como medio de transferencia de calor, lo que garantiza un calentamiento eficiente y rápido. Como resultado de este proceso, se genera una gran cantidad de condensado, el cual puede ser aprovechado dentro de la planta láctea, contribuyendo así a la sostenibilidad del sistema (ver Anexo 5).



Figura 15. Esterilizador UHT

Tabla 8. Datos técnicos del esterilizador UHT

Esterilizador UHT	
Marca	Essi
Modelo	ESSIUHT-T3
Capacidad	3000 lt
Consumo de vapor	223 kg/h
Potencia	13 kW

Fuente: [47]

- **Trampa de vapor**

La trampa de vapor es la encargada de elimina el condensado generado durante la transferencia de calor, permitiendo que solo el vapor seco permanezca en el sistema. Esto mejora la eficiencia térmica y previene la acumulación de agua, manteniendo el equipo operando de manera óptima y segura (ver Anexo 6).

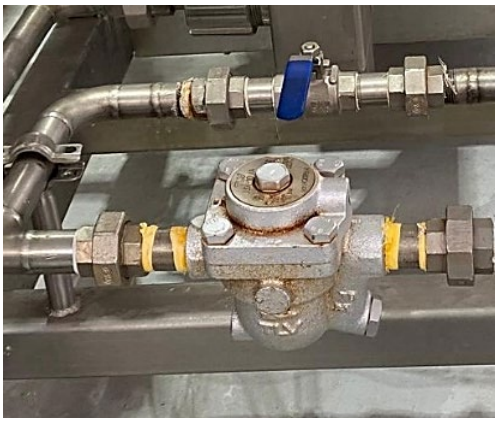


Figura 16. Trampa de vapor

Tabla 9. Datos técnicos de la trampa de vapor

Trampa de vapor	
Marca	TLV
Modelo	J3X-10/A
Temperatura máxima	220 °C
Presión diferencial máxima	10 bar
Tamaño (DN)	20 mm

Fuente: [48]

2.3.1.3. Área de producción de yogurt

- **Tinas de yogurt**

Esta área cuenta con 7 tinas encargadas de calentar, pasteurizar y homogeneizar los ingredientes, creando un ambiente controlado para la fermentación. Utilizan vapor para mantener la temperatura ideal, asegurando la actividad bacteriana y garantizando la calidad del yogurt, además de facilitar una mezcla homogénea. A pesar de ello, no siempre operan al mismo tiempo, ya que su operación depende de la demanda de producción. Esto provoca una disminución en el uso de vapor y, en consecuencia, una menor generación de condensado.

Se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla 10. Capacidad de las tinas de yogurt

Tinas de yogurt	
Número de tina	**Capacidad**
1-2	1200 lt
3-4	2120 lt
5-6	2200 lt
7	500 lt



Figura 17. Tinas de yogurt

Tabla 11. Datos técnicos de la tina de yogurt 1-2

Tina (1-2)	
Marca	Nacional
Material de fabricación	Acero inoxidable AISI 304
Medidas	Altura: 143 cm Diámetro: 127 cm Profundidad: 123 cm
Capacidad	1200 lt

Tabla 12. Datos técnicos de la tina de yogurt 3-4

Tina (3-4)	
Marca	Nacional
Material de fabricación	Acero inoxidable AISI 304
Medidas	Altura: 165 cm Diámetro: 150 cm Profundidad: 145 cm
Capacidad	2120 lt

Tabla 13. Datos técnicos de la tina de yogurt 5-6

Tina (5-6)	
Marca	Nacional
Material de fabricación	Acero inoxidable AISI 304
Medidas	Altura: 169 cm Diámetro: 153 cm Profundidad: 149 cm
Capacidad	2200 lt

Tabla 14. Datos técnicos de la tina de yogurt 7

Tina (7)	
Marca	Nacional
Material de fabricación	Acero inoxidable AISI 304
Medidas	Altura: 110 cm Diámetro: 135cm Profundidad: 90 cm
Capacidad	500 lt

2.3.1.4. Área de producción de queso

En esta área se utilizan dos tinas para coagular la leche con cuajo y cultivos bacterianos, permitiendo el corte y agitación de la cuajada, así como la separación del suero. Controlan la temperatura y condiciones para el tipo de queso deseado, sin embargo, no siempre operan simultáneamente, ya que su uso depende de la demanda, lo que reduce el consumo de vapor y genera una cantidad limitada de condensado.

Se distribuyen de la siguiente manera:

Tabla 15. Capacidad de las tinas de queso

Tinas de queso	
Número de tina	**Capacidad**
1	750 lt
2	600 lt



Figura 18. Tinas de queso

Tabla 16. Datos técnicos de la tina de queso 1

Tina 1	
Marca	Nacional
Material de fabricación	Acero inoxidable AISI 304
Medidas	Altura: 85 cm Diámetro: 159 cm Profundidad: 60 cm
Capacidad	750 lt

Tabla 17. Datos técnicos de la tina de queso 2

Tina 2	
Marca	Nacional
Material de fabricación	Acero inoxidable AISI 304
Medidas	Altura: 64 cm Diámetro: 159 cm Profundidad: 49 cm
Capacidad	600 lt

2.3.2. Análisis de alternativas

- **Alternativa 1**

Sistema venteado

El sistema venteado permite recuperar condensados a temperaturas de hasta 100 °C, ofreciendo una solución económica y de configuración sencilla en comparación con los sistemas presurizados. Esta simplicidad reduce los costos iniciales y facilita su implementación y mantenimiento. Además, el condensado recuperado puede ser aprovechado eficientemente como agua de alimentación para la caldera o en procesos de precalentamiento, contribuyendo al ahorro de recursos y mejorando la eficiencia energética de la planta.

- **Alternativa 2**

Sistema presurizado

El sistema presurizado permite recuperar el condensado a temperaturas de hasta 180 °C. Su configuración es más avanzada en comparación con el sistema venteado, lo que incrementa los costos iniciales. Sin embargo, genera una cantidad mínima de vapor visible, lo que reduce las pérdidas y mejora la eficiencia. Además, presenta menor corrosión en las tuberías, ya que el condensado no entra en contacto con el aire. Este tipo de sistema se utiliza principalmente para la alimentación directa de las calderas y en aplicaciones de recuperación de vapor flash.

Tabla 18. Ponderación de alternativas

Factores	**Sistema venteado**	**Sistema presurizado**
Temperatura del condensado recuperado	2	3
Configuración del sistema	3	1
Costos iniciales	3	1
Nubes de vapor	2	3
Corrosión en la tubería	2	2
Aplicaciones de Recuperación	3	3
Total	15	13

Nota: 1=Excesivo; 2=Regular; 3=Ideal

Después de analizar las dos alternativas, se optó por el sistema venteado debido a sus ventajas en términos de simplicidad y costo inicial reducido. Aunque puede implicar

una pérdida de calor más significativa en comparación con el sistema presurizado, su diseño sencillo minimiza los requerimientos de mantenimiento y reduce la complejidad operativa. Además, su capacidad para manejar eficientemente grandes volúmenes de condensado sin necesidad de sistemas adicionales de control de presión lo convierte en una opción práctica y confiable para garantizar un funcionamiento continuo. Estas características lo posicionan como una solución adecuada para aplicaciones donde la facilidad de operación y el costo inicial son prioridades clave.

2.4. Flujograma de proyecto técnico

El procedimiento que se va a llevar a cabo se detalla a continuación:

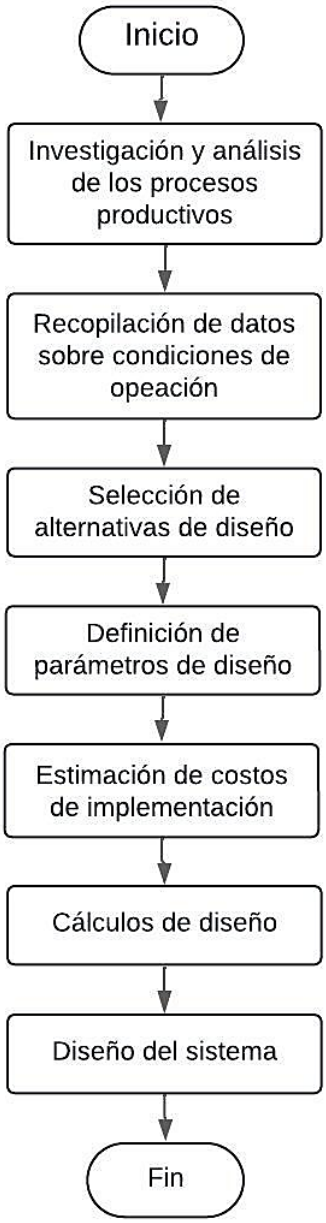


Figura 19. Flujograma del proyecto

2.5. Tipo de investigación

2.5.1. Descriptivo

Consistió en una descripción del sistema de recuperación de condensados en la Planta de Lácteos Marco's, detallando sus componentes y su interacción con el consumo energético, proporcionando así una comprensión completa de su funcionamiento.

2.5.2. Bibliográfico

Implicó la selección y análisis de documentos y materiales bibliográficos de diversas fuentes, como bibliotecas para comprender los temas investigados. Este método buscaba obtener información profunda sobre problemas similares, utilizando el conocimiento existente como base científica y de apoyo, ampliando así las conceptualizaciones y criterios de diferentes autores.

2.5.3. Exploratoria

Permitió la exploración de varias perspectivas y estrategias para resolver el problema. Al analizar detenidamente ayudó a la comprensión del tema, y facilitó la identificación de soluciones eficaces para mejorar el sistema de recuperación de condensados.

2.5.4. Investigación de Campo

Se obtuvieron nuevos conocimientos en el campo de la realidad social; así como también se estudió una situación para diagnosticar necesidades y problemas a efectos de aplicación de los conocimientos con fines prácticos se empleó esta modalidad de campo, ya que los datos que fueron la base de la propuesta que se obtuvo directamente de las fuentes primarias de la empresa en el lugar y tiempo real donde existe el problema.

2.6. Métodos

2.6.1. Comparación de las diferentes alternativas de diseño

Para el diseño del sistema de recuperación de condensados en la Planta de Producción de Lácteos Marco's, se evaluó múltiples alternativas de sistemas mediante un análisis

detallado de sus características operacionales. Posteriormente, se procedió a seleccionar el sistema óptimo, con el objetivo de implementar un diseño que maximice la eficiencia operativa dentro de la industria láctea.

2.6.2. Implementación de las normas para el diseño

El diseño del sistema de recuperación de condensados se lo realizó bajo todas las normas respectivas tales como las ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS), las ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION) y las ISA (THE INTERNATIONAL SOCIETY OF AUTOMATION). Logrando de esta manera un diseño estandarizado de la planta de producción de Lácteos Marco's.

2.7. Cálculos

2.7.1. Área de producción de vapor

2.7.1.1. Producción máxima de vapor por la caldera

La capacidad máxima de vapor de una caldera es el máximo vapor generado en condiciones seguras y eficientes (ver Anexo 1 y 7).

Tabla 19. Datos de entrada para vapor máximo producido por la caldera

Datos	
A 758 kPa para agua	$h_{fg} = 2054.97 \frac{kJ}{kg}$
Capacidad de caldera de 125 BHP	1226 kW

$$\text{Vapor máximo} = \frac{1226\ \text{kW}}{2054.97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\text{Vapor máximo} = 0.596\ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \rightarrow \mathbf{2147}\frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{h}}$$

2.7.1.2. Producción de vapor actual de la caldera

La producción de vapor actual calcula la cantidad de vapor que la caldera está generando (ver Anexo 7).

Tabla 20. Datos de entrada para producción de vapor actual de la caldera

Datos	
A 758 kPa para agua	$h_{fg} = 2054.97\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
Potencia actual de la caldera	630.67 kW

$$\text{Vapor producido} = \frac{630.67\ \text{kW}}{2054.97\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\text{Vapor producido} = 0.30\ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \rightarrow \mathbf{1103.23}\ \frac{\mathbf{kg}}{\mathbf{h}}$$

2.7.1.3. Potencia en base al consumo de combustible

La potencia térmica total se calculó con la capacidad de las boquillas y multiplicándola por el poder calorífico del combustible, reflejando la energía generada y transferida en la caldera (ver Anexo 1 y 8).

Tabla 21. Datos de entrada para potencia en base al consumo de combustible

Datos	
Boquillas (consumo de diésel)	$15.5\frac{\text{gal}}{\text{h}} * 0.84\frac{\text{kg}}{\text{L}} * \frac{3.785\ \text{L}}{1\ \text{gal}} = 49.25\frac{\text{kg}}{\text{h}}$
Poder calorifico diesel	$46100\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$\text{Potencia térmica} = 49.25\,\frac{\text{kg}}{\text{h}} * 46100\,\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Potencia térmica} = 2270425\,\frac{\text{kJ}}{\text{h}} \rightarrow \mathbf{630.67\ kW}$$

2.7.2. Áreas de procesos de producción

Se identificó las áreas de uso del vapor en la industria láctea, analizando sus propiedades termodinámicas para sus respectivos cálculos (ver Anexos 9 al 13).

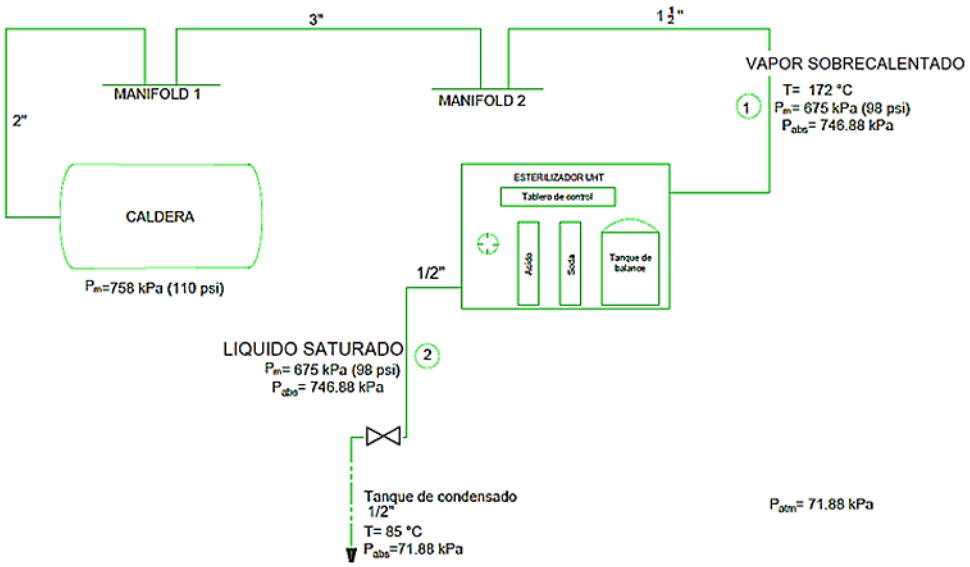


Figura 20. Diagrama general del área de producción de leche UHT

Tabla 22. Datos área leche UHT

Datos	
V=Volumen de condensado recolectado	$0.0144\ \mathrm{m}^3$
A 85°C (Temperatura de salida del condensado)	$v_f = 0.001032 \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}$ $h_f = 356.02 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$
$\mathrm{P_{atm}}$ = Presión atmosférica	71.88 kPa
$\mathrm{P_m}$ = Presión manométrica	675 kPa
$\mathrm{P_{abs}}$ = Presión absoluta	746.88 kPa
Entapías, a 746.88 kPa y 168°C	$\mathrm{h_1} = 2823.9 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$ $\mathrm{h_2} = 708.47 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$

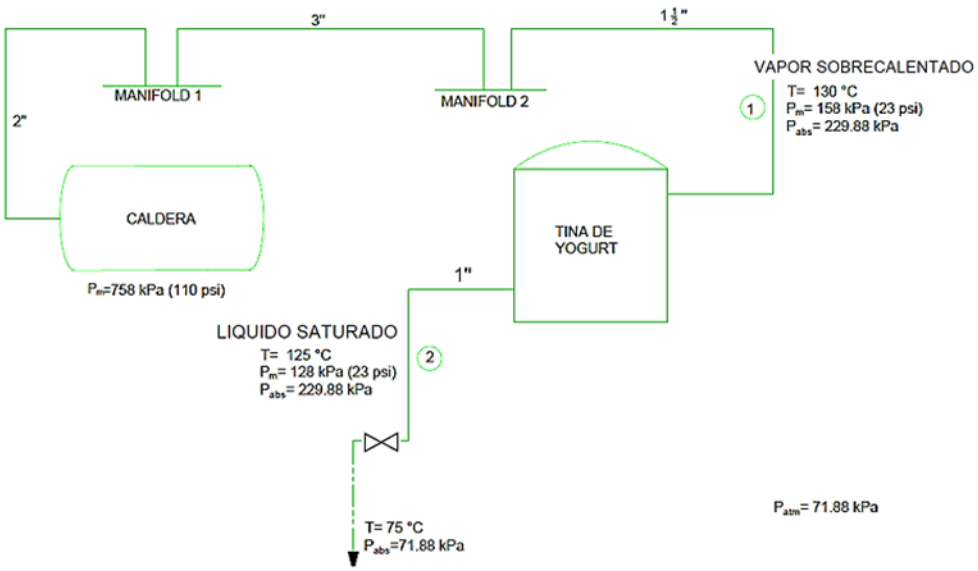


Figura 21. Diagrama general del área de producción de yogurt

Tabla 23. Datos área de yogurt

Datos	
Volumen de condensado recolectado	$0.000526\ \mathrm{m}^3$
A 75°C (Temperatura de salida del condensado)	$v_f = 0.001026 \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}}$ $h_f = 314.03 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$
$\mathrm{P_{atm}} =$ Presión manométrica	71.88 kPa
$\mathrm{P_m} =$ Presión manométrica	158 kPa
$\mathrm{P_{abs}} =$ Presión absoluta	229.88 kPa
Entapías, a 229.88 kPa y 125°C	$\mathrm{h_1} = 2713.5 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$ $\mathrm{h_2} = 523.57 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$

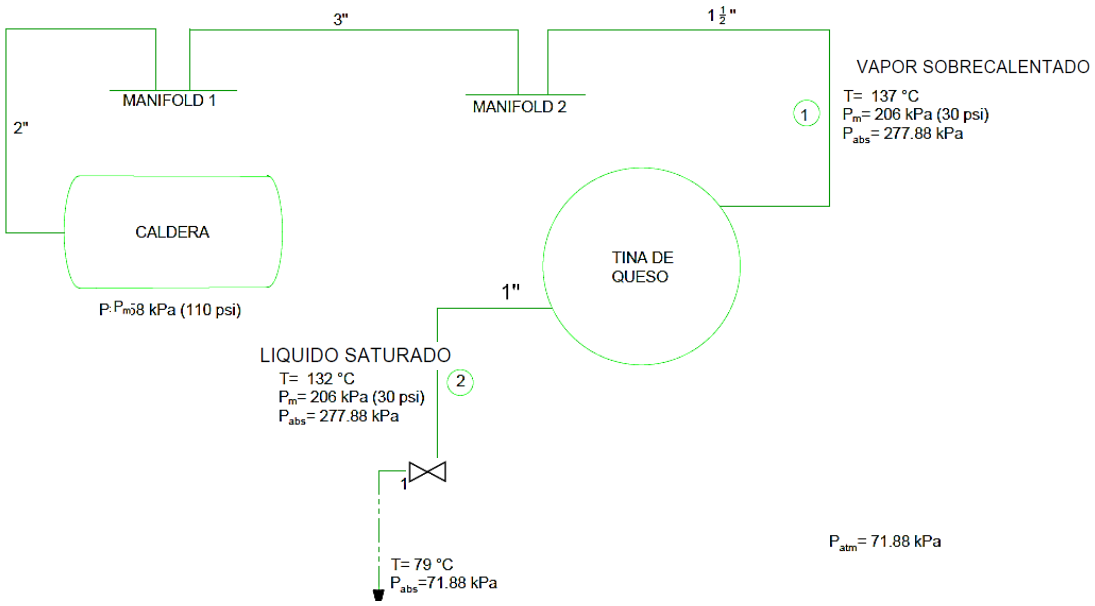


Figura 22. Diagrama general del área de producción de queso

Tabla 24. Datos área de queso

Datos	
V=Volumen de condensado recolectado	$0.000263\ \mathrm{m^3}$
A 79°C (Temperatura de salida del condensado)	$v_f = 0.001021 \frac{\mathrm{m^3}}{\mathrm{kg}}$ $h_f = 335.02 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$
$\mathrm{P_{atm}} =$ Presión manométrica	71.88 kPa
$\mathrm{P_m} =$ Presión manométrica	206 kPa
$\mathrm{P_{abs}} =$ Presión absoluta	277.88 kPa
Entapías, a 277.88 kPa y 132°C	$\mathrm{h_1} = 2723.65 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$ $\mathrm{h_2} = 550.31 \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}}$

Se obtuvieron los caudales de las diferentes áreas de producción utilizando la ecuación 7:

- Leche UHT: Se midió en un tanque recolector con dimensiones de 0.6 m de largo, 0.6 m de ancho.
- Yogurt: Se midió en un balde con las siguientes dimensiones; un radio mayor de 0.098 m, un radio menor de 0.085 m.
- Queso: Se midió en un balde con las siguientes dimensiones; un radio mayor de 0.098 m, un radio menor de 0.085 m.

Considerando los caudales calculados, se determinó el valor del flujo másico aplicando la ecuación 16:

$$\dot{\mathrm{m}} = \frac{\mathrm{Q}}{v_f} \tag{16}$$

Donde:

$\dot{m}$= Flujo másico kg/s

$Q = \text{Caudal recolectado } [m^3/s]$

$v_f = \text{Volumen específico } [m^3/kg]$

Después, se calculó el calor aprovechado en el sistema con la ecuación 17, utilizando el flujo másico del condensado, para un proceso isobárico y la diferencia de entalpías entre los puntos de entrada y salida.

$$\dot{Q} = \dot{m} * (h_1 - h_2) \quad (17)$$

Donde:

$\dot{Q} = \text{Cantidad de energía transmitida } [W]$

$\dot{m} = \text{Flujo másico } [kg/s]$

$h_1 = \text{Entalpía inicial } [kJ/kg]$

$h_2 = \text{Entalpía final } [kJ/kg]$

En la tabla 25 se presenta un resumen de los cálculos obtenidos en las diferentes áreas de producción.

Tabla 25. Resumen de cálculos de las diferentes áreas

Áreas de producción	**Caudal de condensado** $\left[\frac{m^3}{h}\right]$	**Flujo másico** $\left[\frac{kg}{s}\right]$	**Calor aprovechado en el equipo [kW]**	**Pérdidas por condensados [kW]**
Leche UHT	0.213	0.060	226.28	76.74
Yogurt	0.078	0.020	45.75	6.64
Queso	0.054	0.014	31.21	4.46
TOTAL			303.24	87.84

2.7.3. Determinación de pérdidas térmicas en la caldera

Se aplicaron las ecuaciones indicadas a continuación para el cálculo de transferencia de calor por convección tomando en cuenta los datos obtenidos (ver Anexo 16).

$$T_p = \frac{T_{sup} + T_{alred}}{2} \quad (18)$$

Donde:

T_p = Temperatura de película del sistema [°C]

T_{sup} = Temperatura superficial [°C]

T_{alred} = Temperatura del ambiente [°C]

Teniendo en consideración la temperatura de película, se determina las propiedades del fluido (ver Anexo 16) como el coeficiente de expansión volumétrica y se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 26. Propiedades del fluido para convección

Propiedades del fluido	
v = Viscosidad cinemática	1.516 x10^{-5} m^2/s
k = Conductividad térmica	0.02514 W/m*K
P_r = Número de Prandtl	0.7309

$$\beta = \frac{1}{T_p} \quad (19)$$

Donde:

β = Coeficiente de expansión volumétrica [$°K^{-1}$]

T_p = Temperatura de película [°K]

Para determinar el Número de Rayleigh y para el cálculo del número de Nusselt en la convección natural se usaron las ecuaciones 20 y 21:

$$\mathrm{Ra_D} = \frac{\mathrm{g} * \beta(\mathrm{T_{sup}} - \mathrm{T_{alred}})\mathrm{D_{ext}}^3}{v^2} * \mathrm{P_r} \tag{20}$$

$$\mathrm{Nu} = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 * \mathrm{Ra_D}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{\mathrm{P_r}}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \tag{21}$$

Donde:

$\mathrm{Ra_D}$ = Número de Rayleigh

g = Gravedad (9.81 $\mathrm{m^2/s}$)

β = Coeficiente de expansión volumétrica [$°\mathrm{K}^{-1}$]

$\mathrm{T_{sup}}$ = Temperatura superficial [°K]

$\mathrm{T_{alred}}$ = Temperatura del ambiente [°K]

$\mathrm{D_{ext}}$ = Diámetro exterior del tubo [m]

v = Viscosidad cinemática [$\mathrm{m^2/s}$]

$\mathrm{P_r}$ = Número de Prandtl

Nu = Número de Nusselt

Por lo tanto, para calcular las pérdidas para el coeficiente de transferencia y pérdidas de calor por convección se utilizó las ecuaciones 22 y 23:

$$\mathrm{h} = \frac{\mathrm{k}}{\mathrm{D_{ext}}} * \mathrm{Nu} \tag{22}$$

Donde:

$h =$ Coeficiente de película o transmición de calor por convección $[W/m^2 * °K]$

$k =$ Conductividad térmica

$D_{ext} =$ Diámetro exterior del tubo [m]

$Nu =$ Número de Nusselt

$$\dot{Q}_{conv} = h * A_s * (T_{sup} - T_{alred}) \quad (23)$$

Donde:

$\dot{Q}_{conv} =$ Flujo de calor [W]

$h =$ Coeficiente de transmición de calor por convección $[W/m^2 * °K]$

$A_s =$ Área de la superficie bañada por el fluido $[m^2]$

$T_{sup} =$ Temperatura superficial [°K]

$T_{alred} =$ Temperatura ambiente [°K]

Para determinar las pérdidas por radiación se utiliza la ecuación 24:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon * \sigma * A_s * ({T_s}^4 - {T_{alred}}^4) \quad (24)$$

Donde:

$\varepsilon =$ Emisividad del material

$\sigma =$ Constante de Stefan Boltzmann $[W/m^2 * K^4]$

$A_s =$ Área de transferencia de calor del tubo $[m^2]$

$T_{sup} =$ Temperatura superficial [°K]

$T_{alred} =$ Temperatura ambiente [°K]

2.7.3.1. Pérdidas de calor a través de las paredes de la caldera

2.7.3.1.1. Pérdidas por convección de la caldera

Se consideran las pérdidas por convección libre que ocurren desde la caldera a través de su superficie exterior por paredes planas frontal y posterior, y pared cilíndrica periférica.

- **Paredes planas frontal y posterior.** Aplicando la correlación empírica de Churchill y Ozoe para flujo laminar sobre placa plana y condiciones promedio globales, se obtiene los resultados representados en la tabla 27:

Tabla 27. Pérdidas de calor en las paredes planas de la caldera

Datos	
Diámetro exterior de la caldera (m)	1.7
Área frontal transferencia de calor (m^2)	1.4
Área posterior transferencia de calor (m^2)	1.9
Velocidad del aire ambiente (m/s)	1
Temperatura exterior (°K)	453.15
Temperatura ambiente (°K)	293.15
Número de Prandtl para aire	0.6992
Viscosidad del aire (m^2/s)	1.59×10^{-5}
Conductividad del aire (W/m*K)	0.03646
Temperatura de película (°K)	373.15
Número de Reynolds	94340
Número de Peclet	61294
Resultados	
Coeficiente de convección (W/m^2*K)	4.9
Pérdida de calor, pared frontal (kW)	4.54
Pérdida de calor, pared posterior (kW)	6.62
Pérdida de calor total (kW)	11.16

- **Pared cilíndrica periférica.** Con la correlación empírica de Hilpert para flujo externo y condiciones promedio globales presentados en la tabla 28, se obtienen los valores de la tabla 29:

Tabla 28. Constantes para la correlación Hilpert

Re	C	m
0.4 - 4	0.989	0.330
4 - 40	0.911	0.385
40 - 4000	0.683	0.466
4000 - 40 000	0.193	0.618
40 000 - 400 000	0.027	0.805

Fuente: [49]

Tabla 29. Pérdidas de calor en periferia cilíndrica de la caldera

Datos	
Diámetro exterior de la caldera (m)	1.7
Área de transferencia de calor (m^2)	15.1
Longitud (m)	3
Velocidad del aire ambiente (m/s)	1
Temperatura exterior (°K)	303.15
Temperatura ambiente (°K)	293.15
Número de Prandtl para aire	0.7282
Viscosidad del aire (m^2/s)	1.84×10^{-5}
Conductividad del aire (W/m*K)	0.02588
Temperatura de película (°K)	298.15
Número de Reynolds	86957
Correlación de Hilpert (Constante c)	0.027
Correlación de Hilpert (Constante m)	0.805
Resultados	
Coeficiente de convección (W/m^2*K)	3.72
Pérdida de calor (kW)	0.14

2.7.3.1.2. Pérdidas por radiación de la caldera

- **Paredes planas frontal y posterior**

Tabla 30. Pérdidas de calor en paredes planas de la caldera

Datos	
Diámetro exterior de la caldera (m)	1.7
Área frontal de transferencia de calor (m^2)	1.5
Área posterior de transferencia de calor (m^2)	1.9
Temperatura exterior (°K)	413.15
Temperatura ambiente (°K)	293.15
Emisividad del material	0.32
Constante Stefan Boltzmann (W/m^2*K^4)	5.67×10^{-8}
Resultados	
Coeficiente de calor por radiación (kW)	5.59

- **Pared cilíndrica periférica**

Tabla 31. Pérdidas de calor en periferia cilíndrica de la caldera

Datos	
Diámetro exterior de la caldera (m)	1.7
Longitud (m)	3
Área de transferencia de calor (m^2)	15.08
Temperatura exterior (°K)	313.15
Temperatura ambiente (°K)	293.15
Emisividad del material	0.32
Constante Stefan Boltzmann (W/m^2*K^4)	5.67×10^{-8}
Resultados	
Coeficiente de calor por radiación (kW)	4.81

2.7.3.1.3 Pérdidas totales por convección y radiación de la caldera

Las pérdidas por convección y radiación actúan en forma simultánea, y se suman en paralelo para encontrar un valor equivalente, se indican en la tabla 32:

Tabla 32. Resumen de pérdidas totales por paredes de la caldera

Pérdida de calor paredes caldera	
Pérdida de calor por convección (kW)	11.16
Pérdida de calor por radiación (kW)	10.4
Total, de pérdidas de calor (kW)	21.56

2.7.3.2. Pérdidas de calor a través de las paredes de la chimenea

2.7.3.2.1. Pérdidas por convección de la chimenea

Aplicando la correlación empírica de Hilpert para flujo externo y condiciones promedio globales que se indican en la tabla 28, y se obtienen los resultados indicados en la tabla 33:

Tabla 33. Cálculo de pérdidas de calor por convección

Datos	
Diámetro exterior de la chimenea (m)	0.3
Área de transferencia de calor (m^2)	1.87
Altura (m)	1.5
Velocidad del aire ambiente (m/s)	1
Temperatura exterior (°K)	428.15
Temperatura ambiente (°K)	293.15
Número de Prandtl para aire	0.7029
Viscosidad del aire (m^2/s)	2.2×10^{-5}
Conductividad del aire (W/m*K)	0.0342
Temperatura de película (°K)	362.15

Número de Reynolds	1186
Correlación de Hilpert (Constante c)	0.198
Correlación de Hilpert (Constante m)	0.618
Resultados	
Coeficiente de convección (W/m^2*K)	4.89
Pérdida de calor (kW)	6.27

2.7.3.2.2. Pérdidas por radiación de la chimenea

Tabla 34. Cálculo de pérdidas por radiación

Datos	
Diámetro exterior de la caldera (m)	0.3
Área de transferencia de calor (m^2)	1.86
Altura (m)	1.9
Temperatura exterior (°K)	428.15
Temperatura ambiente (°K)	293.15
Emisividad del material	0.6
Constante Stefan Boltzmann (W/m^2*K^4)	5.67×10^{-8}
Resultados	
Coeficiente de calor por radiación (kW)	5.76

2.7.3.2.3. Pérdidas totales por convección y radiación de la chimenea

Las pérdidas totales por convección y radiación se muestran en la tabla 35.

Tabla 35. Resumen de pérdidas totales por paredes de chimenea

Pérdida de calor paredes de chimenea	
Pérdida de calor por convección (kW)	6.27
Pérdida de calor por radiación (kW)	5.76
Total, de pérdidas de calor (kW)	12.03

Las pérdidas por radiación superan a las pérdidas por convección debido a que la chimenea no presenta un recubrimiento y por tanto la temperatura externa alcanza 155 °C.

2.7.4. Pérdidas de calor por la salida de gases de escape por la chimenea

Las pérdidas provocadas por el escape de gases calientes por la chimenea se representan en la tabla 36.

Tabla 36. Cálculo de pérdidas por flujo de gases por la chimenea

Datos	
Diámetro interior de la chimenea (m)	0.3
Área de salida de chimenea (m2)	0.18
Velocidad aire de salida (m/s)	2
Caudal de salida por chimenea (m3/s)	0.18
Presión de salida de gases (kPa)	100
Temperatura de salida de gases (°C)	95
Entalpía de salida de gases (J/kg)	37000
Resultados	
Flujo másico (kg/s)	0.18
Pérdida de calor (kW)	92.4

2.7.5. Pérdidas por convección natural en las tuberías de los diferentes tramos

En la figura 23, se puede observar el diagrama de tuberías, definido por tramos. Mientras que en la tabla 37, se especifican los tramos de ingreso de vapor y salida de condensado.

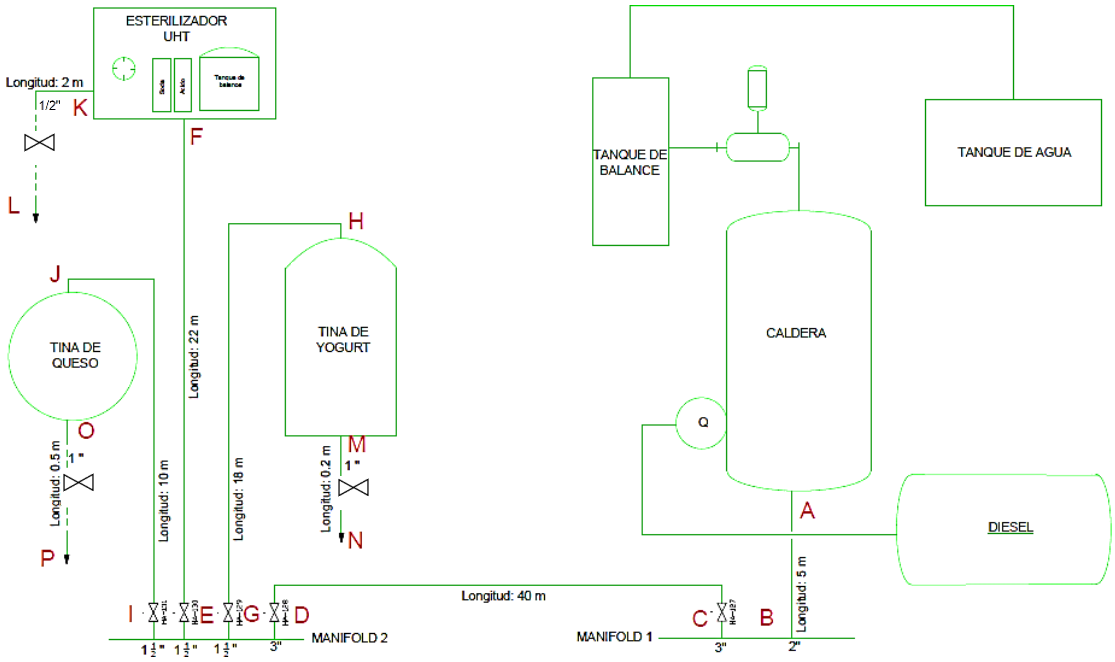


Figura 23. Diagrama de tuberías definido por tramos

Tabla 37. Definición de los tramos

Tramo	Localización
A-B	Caldera-Manifold 1
C-D	Manifold 1- Manifold 2
E-F	Manifold 2- Esterilizador UHT
G-H	Manifold 2- Tina de yogurt
I-J	Manifold 2- Tina de queso
K-L	Esterilizador UHT- Drenaje
M-N	Tina de yogurt- Drenaje
O-P	Tina de queso- Drenaje

Después de aplicar todas las fórmulas previamente mencionadas, se obtuvieron los siguientes resultados de cada uno de los tramos, los cuales se presentan en la tabla 38:

Tabla 38. Pérdidas de calor por tramos en tuberías de vapor

Tramo	Diámetro tubería (m)	Longitud (m)	Área cilíndrica periférica (m^2)	Coeficiente Convección (W/m^2*K)	Temp. Interior (°C)	Temp. Exterior (°C)	$\dot{Q}_{conv}$ [kW]
A-B	0.06030	5	0.951	6.456	183	20	0.94
C-D	0.08890	40	11.17	6.344	180	20	6.32
E-F	0.04830	22	3.33	6.442	175.5	20	2.35
G-H	0.04830	18	2.73	6.209	154.5	20	1.4
I-J	0.04830	10	1.51	6.250	158	20	1.23
K-L	0.0213	2	0.38	6.267	128.5	20	0.12
M-N	0.03340	0.2	0.021	5.589	102.5	20	0.017
O-P	0.03340	0.5	0.052	5.686	108	20	0.02
TOTAL							**12.39**

2.7.6. Resumen total de pérdidas de calor en el sistema

Una vez determinadas las pérdidas de calor existentes en el sistema, se procede a evaluarlas y compararlas, se indican en la tabla 39.

Tabla 39. Cálculo de pérdidas totales

Pérdidas en la generación de vapor (kW)		
Paredes de caldera	21.56	
Paredes de chimenea	12.03	
Escape de gases por chimenea	92.4	
	126	50%
Pérdidas en la distribución de vapor (kW)		
Paredes de tubería de vapor	12.39	4.91%
Pérdidas en la combustión (kW)	113.6	45.07%
Total, de pérdidas (kW)	252	100%

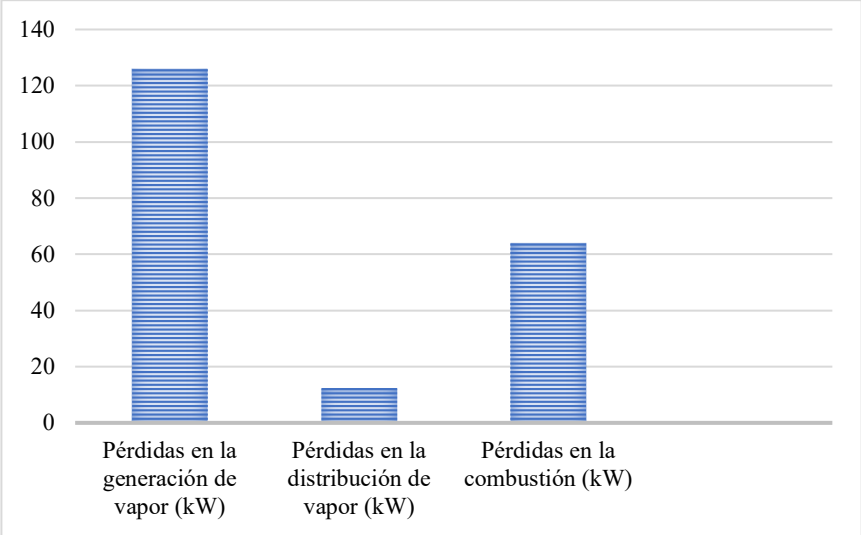


Figura 24. Distribución de pérdidas térmicas

Se cuantificaron las pérdidas térmicas totales de 252 kW, distribuidas de la siguiente manera: el 50% corresponde a pérdidas asociadas con la generación de vapor, el 45.07% se atribuye a defectos de combustión en los quemadores y el 4.91 % está relacionado con la distribución de vapor a través de tuberías. La Figura 24 ilustra gráficamente la distribución de estas pérdidas térmicas en el sistema de generación y distribución de vapor.

2.7.7. Balance de pérdidas térmicas en la caldera y chimenea

En la Figura 25, se determina las pérdidas térmicas evidenciando que la potencia que proporciona el quemador es de 630.67 kW, mientras que el aprovechamiento energético es de 303.24 kW. El resto de la energía se convierte en pérdidas por condensados (87.84 kW), pérdidas a la salida de los gases por combustión (113.6 kW), pérdidas por combustión (92.4 kW), pérdidas en la caldera (21.56 kW) y pérdidas en la chimenea (12.03 kW).

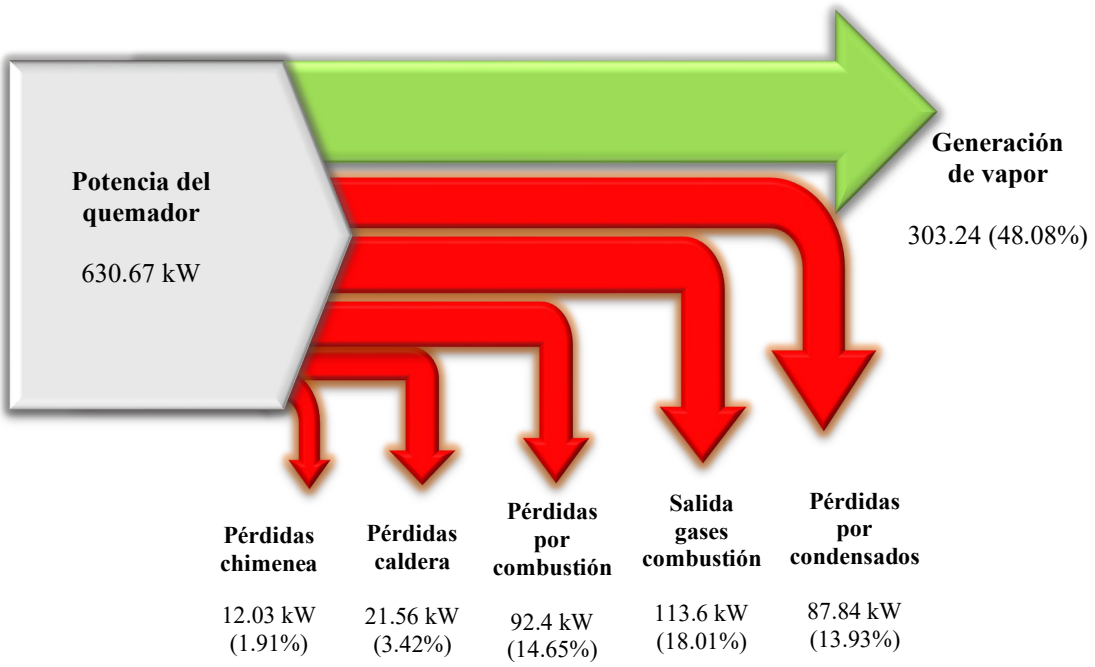


Figura 25. Diagrama de Sankey para balance de energía

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3. Cálculo de la producción

Se analizó la producción de cada área de acuerdo con sus horas de trabajo en el día y mensualmente, presentado en la tabla 40:

Tabla 40. Producción de la empresa

Área de producción	Producción diaria	Régimen de días de trabajo mensual	Producción mensual
Leche UHT	23840 lt	24	572160 lt
Yogurt	2700 lt	12	32400 lt
Queso	300 kg	8	2400 kg

Análisis: Con los datos obtenidos de las tres áreas, se determinó que el área de leche UHT tiene mayor producción diaria y mensual en comparación con las áreas de queso y yogurt lo que la convierte en la de mayor continuidad productiva dentro de la planta. Por lo tanto, tomando en cuenta la distancia entre las diferentes áreas de producción y el espacio disponible para ubicar el tanque recolector, se considera que el diseño del sistema de recuperación de condensados sea exclusivamente en el área de leche UHT, dado su impacto en la eficiencia operativa y el ahorro económico.

3.1. Selección de componentes

3.1.1. Tanque recolector de condensado

3.1.1.1. Dimensionamiento del tanque recolector de condensado

En el dimensionamiento del tanque se consideró que la altura sea igual al diámetro con el objetivo de optimizar el almacenamiento y facilitar el diseño. Como se conoce que la producción de leche UHT es de 8 horas diarias: las 7 horas son de recirculación segura y la 1 hora restante se tomó en cuenta para el dimensionamiento del tanque, asegurando la capacidad suficiente para almacenar el condensado excedente en caso de que no sea reutilizado inmediatamente en la caldera. Para ello se utilizarán las ecuaciones 24 y 25:

$$V_{tanque} = Q * h \tag{24}$$

$$h_{tanque} = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{tanque}}{\pi}}$$

$$h_{tanque} = 1\ m \tag{25}$$

$$\mathbf{h = D = 1\ m}$$

Análisis: Las dimensiones del tanque con diámetro y altura de 1 m, asegura la capacidad suficiente para condensados, con resistencia estructural óptima y estabilidad. Su diseño equidimensional facilita la instalación en espacios reducidos y minimiza los costos de fabricación.

3.1.1.2. Cálculo del espesor de las paredes del tanque

El espesor del tanque de recolección de condensados se obtuvo aplicando la ecuación 25 de la norma ASME Sección VIII, División 1, que establece métodos para recipientes a presión. Se consideraron las propiedades del acero A36 (ver Anexo 19).

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0.6P} \tag{26}$$

$$t = 0.0019\ m \rightarrow 1.9\ mm$$

Donde:

$t =$ Espesor mínimo [m]

$P =$ Presión interna del tanque [MPa]

$R =$ Radio interno del cilindro [m]

$S =$ Esfuerzo permisible del material a la temperatura de diseño [MPa]

$E =$ Factor de eficiencia de la soldadura (1 para tuberías sin costura)

Tabla 41. Datos para el cálculo del espesor

Datos	
Presión interna del tanque (MPa)	0.6
Radio interno del tanque (m)	0.5
Sy (MPa)	160
Factor de eficiencia de soldadura	1
Factor de seguridad	2
Resultados	
Espesor de la pared (mm)	4

Análisis: Con el cálculo del espesor del material, incluyendo un factor de seguridad, se obtuvo consideró que puede soportar el doble de la carga prevista. Esta elección de 4 mm garantiza un equilibrio adecuado entre seguridad, costos y cumplimiento.

3.1.1.3. Material del tanque recolector de condensado

Para determinar el material del tanque, se calcularon los esfuerzos tangenciales y longitudinales con las ecuaciones 27, 28 y 29 considerando las presiones internas y dimensiones del recipiente.

$$\sigma_t = \frac{P * D}{2 * t} \tag{27}$$

$$\sigma_L = \frac{P * D}{4 * t} \tag{28}$$

$$\sigma_{A,B} = \frac{\sigma_t - \sigma_L}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_t - \sigma_L}{2}\right)^2 + \tau^2} \tag{29}$$

Donde:

$\sigma_t =$ Esfuerzo tangencial [MPa]

$\sigma_L =$ Esfuerzo longitudinal [MPa]

$P =$ Presión interna del tanque [MPa]

$D =$ Diámetro interno del tanque [m]

$t =$ Espesor de la pared del tanque [m]

Además, se verificó el esfuerzo de Von Misses mediante la ecuación 30 y se determinó la resistencia a la fluencia con la ecuación 31 para confirmar la elección del material. Seguido del cálculo de la resistencia al esfuerzo cortante y el factor de seguridad del material con las ecuaciones 32 y 33.

$$\sigma' = \sqrt{{\sigma_A}^2 - \sigma_A \sigma_B + {\sigma_B}^2} \tag{30}$$

$$Sy = n * \sigma' \tag{31}$$

$$\tau = \frac{\sigma_t - \sigma_L}{2} \tag{32}$$

$$n = \frac{\tau_y}{\tau} \tag{33}$$

Donde:

$\sigma' =$ Esfuerzo de Von Misses [MPa]

$\sigma_A =$ Mayor de los dos esfuerzos distintos de cero [MPa]

$\sigma_B =$ Menor de los dos esfuerzos distintos de cero [MPa]

$n =$ Factor de seguridad [3.5]

Tabla 42. Selección del material para el tanque recolector

Datos	
Presión interna (MPa)	0.6
Espesor de la pared (m)	0.004
Diámetro interno del tanque (m)	0.9926
Resultados	
σ_t (MPa)	74.44
σ_L (MPa)	37.22
$\sigma_{A,B}$(MPa)	$\sigma_A = 74.44$ $\sigma_B = 37.22$
Sy (MPa)	244
τ_y (MPa)	150
$n =$ F. de seguridad	2.48

Análisis: Con los resultados obtenidos, se verificó y comparó con la tabla de la norma API 650 (ver Anexo 19), determinando que el material adecuado para el tanque de recolección de condensados es el acero A36. Además, se corroboró que el factor de seguridad es mayor que 1, lo que garantiza que el tanque puede soportar el esfuerzo cortante sin comprometer su integridad estructural.

3.1.1.4. Diseño del tanque de recolección de condensados

Se diseñó el tanque de recolección de condensados con base en los cálculos previos realizados, considerando capacidad adecuada, seguridad estructural y funcionalidad para el almacenamiento óptimo del condensado.

Tabla 43. Dimensiones del tanque

Dimensiones	
Diámetro del tanque (m)	1
Altura del tanque (m)	1
Volumen (m^3)	0.02
Grado máximo de llenado (%)	75
Grado mínimo de llenado (%)	20

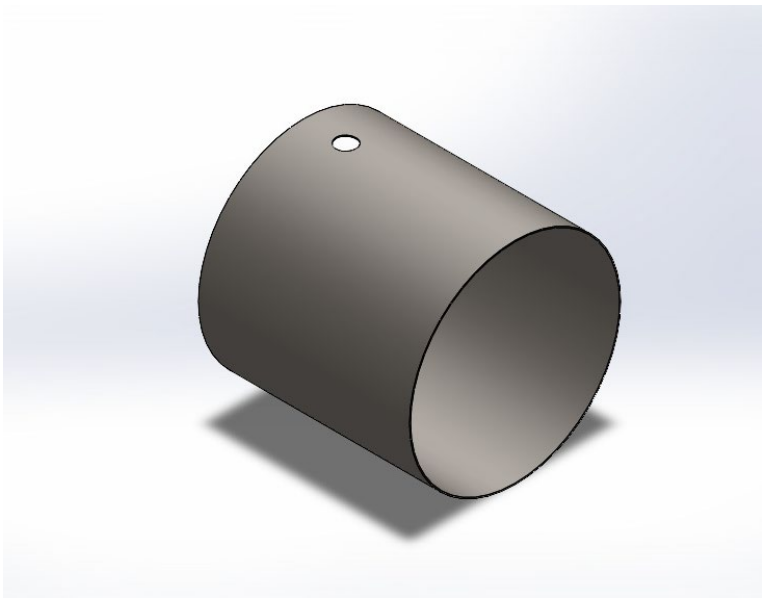


Figura 26. Diseño del tanque recolector de condensados

También se realizó un orifico de venteo en el tanque de 1/2 pulgada para garantizar la liberación controlada de presión y vapor, evitando acumulaciones que comprometan la seguridad. Este tamaño cumple con la norma ASME BPVC Sección VIII, que establece la necesidad de venteos adecuados en tanques presurizados, considerando la presión de operación y la temperatura. Además, asegura que el sistema funcione eficientemente al permitir la entrada y salida de aire o vapor durante el llenado o vaciado.

3.1.1.5. Cálculo de las tapas del tanque recolector

Para el cálculo de las tapas del tanque se presentan los resultados en la tabla 44 y también las ecuaciones 34, 35, 36, 37 y 38 presentadas a continuación:

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * t \tag{34}$$

$$P_h = \sigma = \gamma * h * \frac{W}{A} \tag{35}$$

$$F = \frac{\sigma}{A} \tag{36}$$

$$t = \frac{F}{\pi * D * \tau_y} \tag{37}$$

Tabla 44. Espesor de las tapas del tanque recolector

Datos	
Diámetro de la tapa (m)	1
Densidad del acero ($\frac{kg}{m^3}$)	7850
τ_y (Pa)	$150\ x10^6$
Volumen (m^3)	0.003

Masa (kg)	23.55
σ (Pa)	7506.07
Fuerza (N)	5895
Resultados	
Espesor de las tapas (m)	4.37×10^{-5}

Análisis: Los resultados obtenidos son de cada tapa (total 2). Los cálculos sugieren un espesor muy bajo para la tapa del tanque, por ello se ha optado por un espesor constante de 4 mm para optimizar la fabricación, cumplir con las normas y maximizar la seguridad.

3.1.1.5.1. Diseño de las tapas del tanque recolector

En la figura 27 se indica el diseño de las tapas para el tanque recolector.

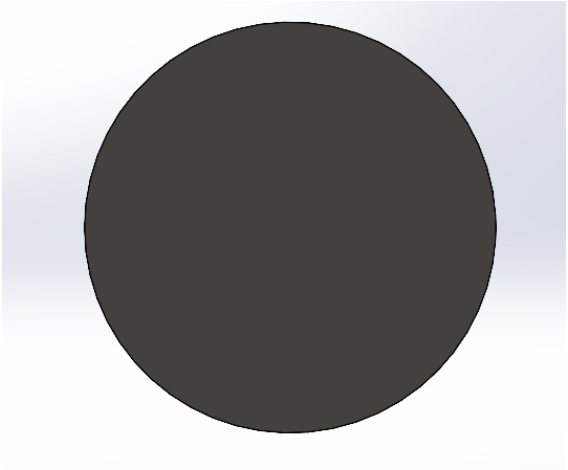


Figura 27. Diseño de las tapas del tanque

3.1.1.6. Cálculo de la estructura de la base del tanque

Se determinó el peso de la estructura considerando, la masa del cilindro, la tapa superior y la inferior (base), a continuación, en la tabla 45 se indica el peso total:

Tabla 45. Cálculo del peso total del tanque

Datos	
Densidad del agua a 85 °C (kg/m^3)	968.62
Densidad del acero (kg/m^3)	7850
Volumen del fluido (m^3)	0.58
Masa del cilindro (kg)	98.65
Masa de las tapas (kg)	47.1
Resultados	
Peso total del tanque (N)	6939.81

3.1.1.6.1. Cálculo de vigas para la estructura

Se realizaron los cálculos de reacciones en los apoyos, esfuerzo cortante y momento flector, considerando las cargas aplicadas en la viga (ver Anexo 19). En las figuras 28, 29 y 30 se puede ver los diagramas.

Tabla 46. Sección necesaria para las vigas.

Datos	
Longitud (m)	1
Carga aplicada (N/m)	3469.9
Ay=By (N/m)	1734.95
Factor de seguridad	3.5
Sy (Pa)	250 x10^6
Resultados	
Módulo de resistencia (cm^3)	6.07

Análisis: Con el módulo de resistencia calculado, se seleccionó el perfil de viga adecuado utilizando catálogos de perfiles tipo L (ver Anexo 20). En este caso, se optó por el perfil L80x40 para ambas vigas, asegurando una resistencia estructural adecuada y cumpliendo con los requerimientos del diseño frente a las cargas aplicadas.

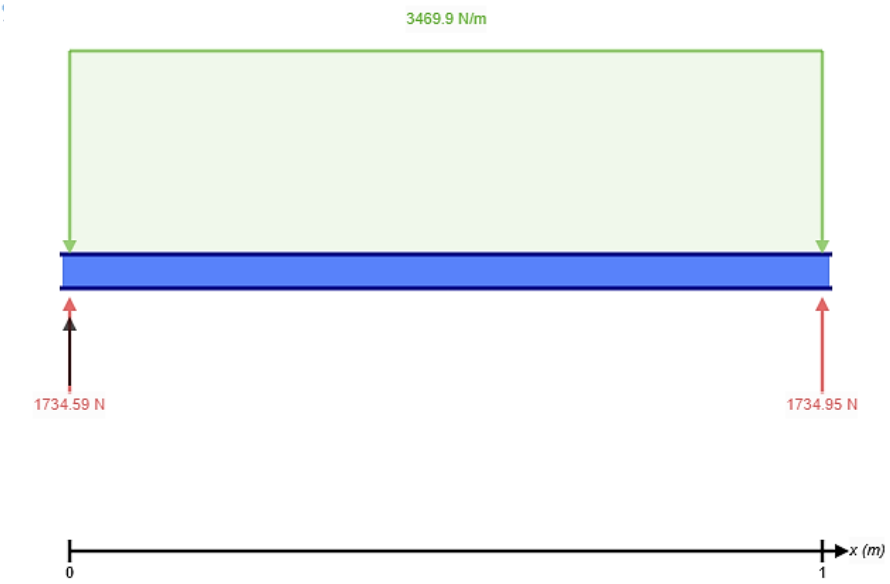


Figura 28. Diagrama de reacciones en los soportes

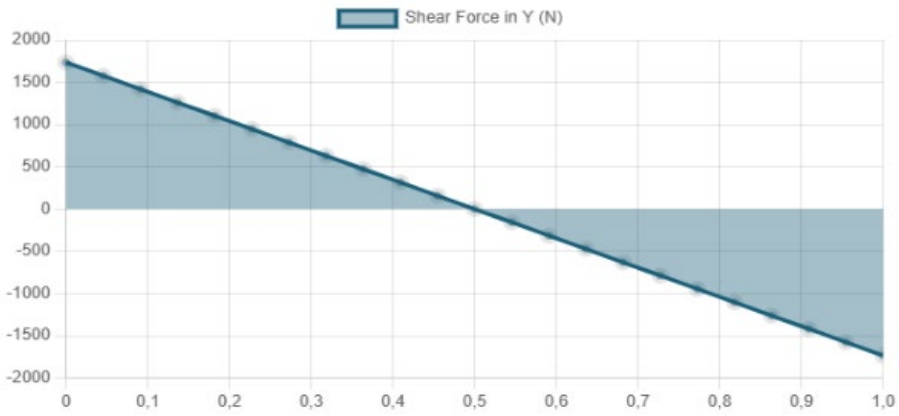


Figura 29. Diagrama de fuerza cortante

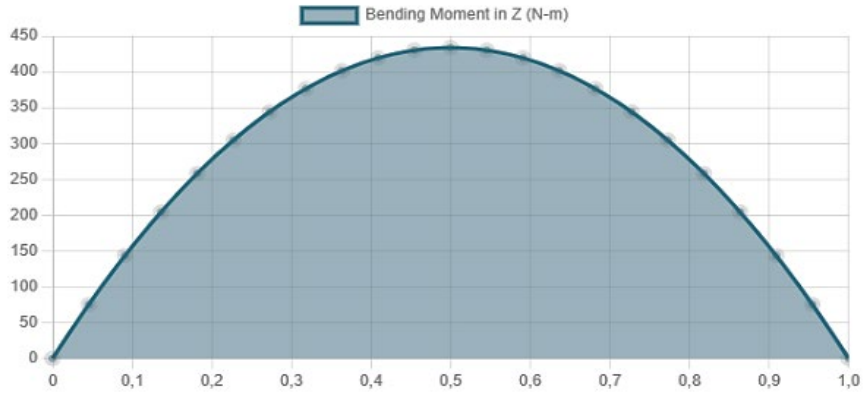


Figura 30. Diagrama de momento flector

3.1.1.6.2. Diseño de la viga

En la figura 31 se presenta el diseño de la viga con el perfil “L”.

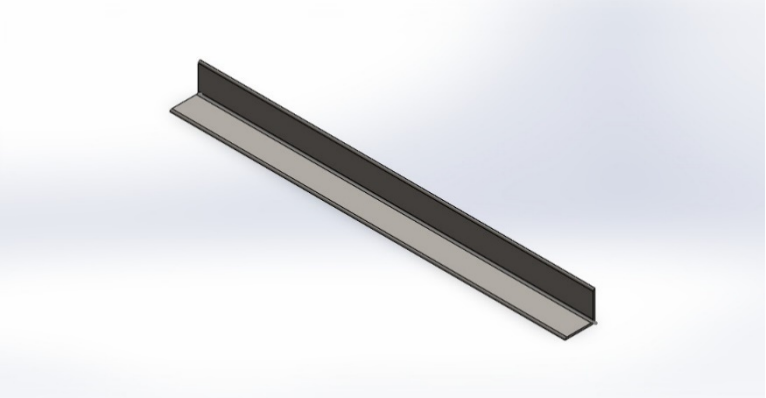


Figura 31. Diseño de la viga con el perfil "L"

3.1.1.6.3. Cálculos de las columnas

Para el cálculo de columnas se consideró factores como la resistencia del material, la estabilidad frente al pandeo y las cargas aplicadas. Para seleccionar un tubo adecuado, se evaluó su diámetro, espesor y longitud, asegurando que soporte la carga crítica de pandeo.

Tabla 47. Área de la columna

Datos	
Longitud (m)	1
P (N)	1734.95
Sy (Pa)	250 x10^6
Resultados	
Área calculada (cm^2)	0.24

Análisis: Con el área calculada, se seleccionó un tubo cuadrado adecuado mediante catálogos (ver Anexo 21). Para las 4 columnas de la estructura, se optó por un tubo de 20x20 mm, garantizando resistencia estructural y cumplimiento de los requerimientos

de diseño frente a las cargas aplicadas, asegurando estabilidad y funcionalidad del sistema diseñado.

3.1.1.6.3.1. Diseño de la columna

En la figura 32 se indica el diseño de la columna de tubo cuadrado. Además, se realizó un estudio y se verificó el factor de seguridad de la columna como se puede observar en la figura 33. También se determinó el factor de carga presentado en la figura 34, la columna soportará 1.5 veces la carga aplicada.



Figura 32. Diseño de la columna de tubo cuadrado

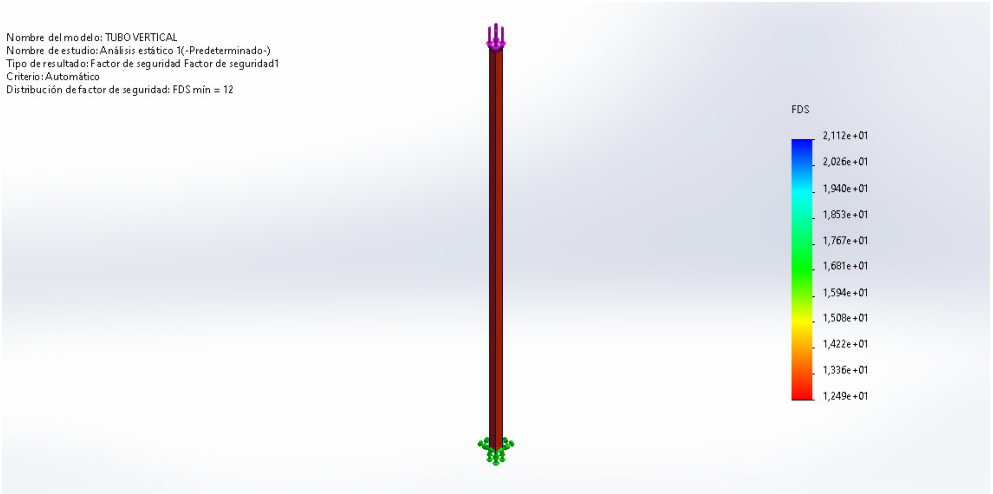


Figura 33. Factor de seguridad de la columna

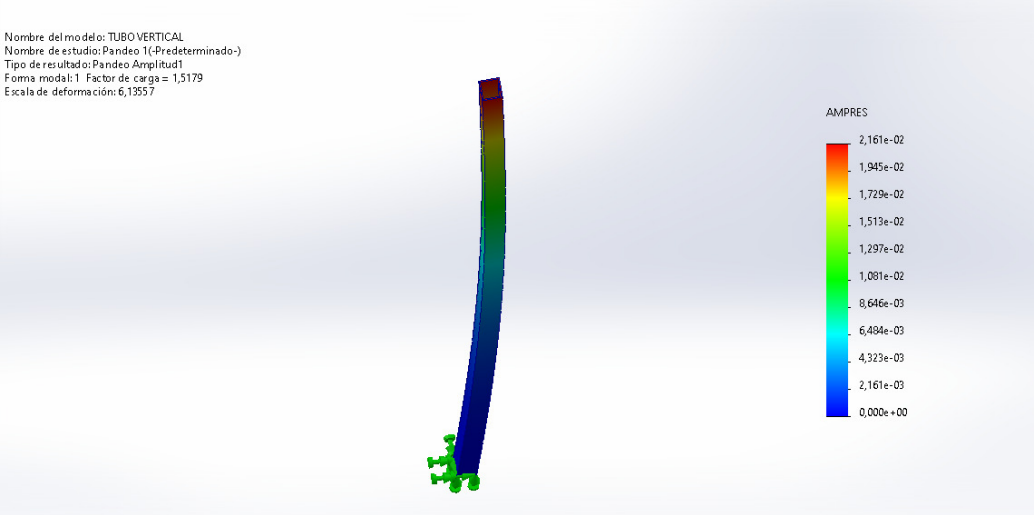


Figura 34. Pandeo de la columna

3.1.1.7. Diseño de la estructura completa para la recuperación de condensados

En la figura 35 se aprecia la estructura diseñada para la recuperación de condensados, compuesta por 4 columnas de tubos cuadrados de 20x20 mm y 2 perfiles “L” de 80x40, seleccionados para su resistencia y estabilidad.

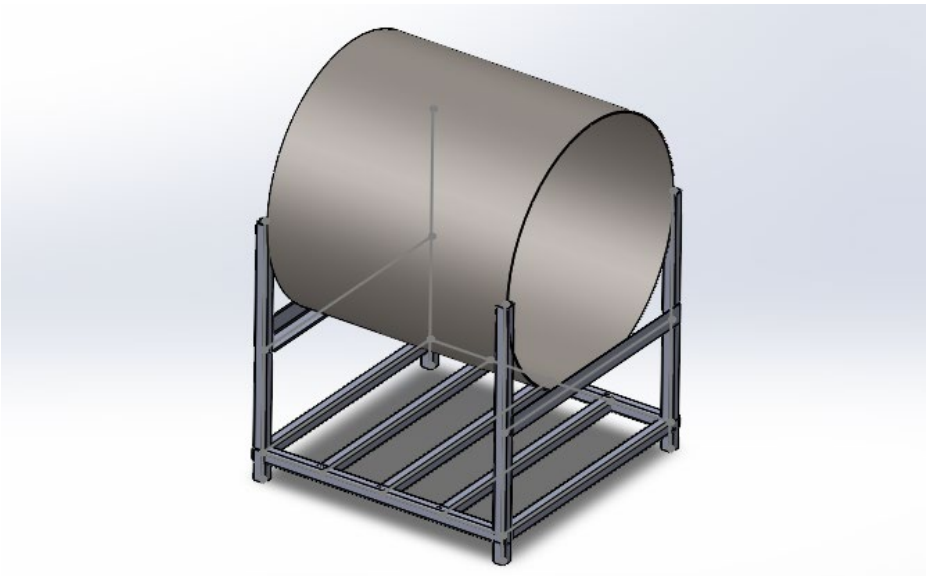


Figura 35. Diseño del tanque de recolector y su base

3.1.1.8. Pérdidas de calor a través de las paredes de tanque recolector

Se determinó las pérdidas de calor por las paredes planas y en la superficie cilíndrica del tanque de recolección de condensados a partir de las ecuaciones 18, 19, 20, 21,22 y 23. Los resultados de las pérdidas en el tanque se muestran en la tabla 48 y 49:

Tabla 48. Pérdidas de calor por paredes planas del tanque

Datos	
Diámetro exterior del tanque (m)	1
Área frontal transferencia de calor (m2)	0.7
Área posterior transferencia de calor (m2)	0.6
Velocidad del aire ambiente (m/s)	1
Temperatura exterior (°K)	353.15
Temperatura ambiente (°K)	293.15
Temperatura de película (°K)	324.65
Viscosidad del aire (m2/s)	1.84×10^{-5}
Número de Prandtl	0.703
Conductividad del aire (W/m*K)	0.0281
Número de Reynolds	54348
Número de Peclet	38180
Resultados	
Coeficiente de convección (W/m^2*K)	4.03
Pérdida de calor en la pared frontal (kW)	0.12
Pérdida de calor en la pared posterior (kW)	0.10
Pérdida total de calor en las paredes (kW)	0.22

Tabla 49. Pérdidas de calor por convección natural, por superficie cilíndrica del tanque

Datos	
Diámetro exterior del tanque (m)	1
Longitud total del tanque (m)	1
Área de transferencia de calor (m2)	1.6
Velocidad del aire ambiente (m/s)	1
Temperatura exterior (°K)	353.15
Temperatura ambiente (°K)	293.15
Temperatura de película (°K)	324.65
Viscosidad del aire (m2/s)	1.84×10^{-5}
Número de Prandtl	0.703
Conductividad del aire (W/m*K)	0.0281
Número de Reynolds	54348
Correlación de Hilpert (constante C)	0.027
Correlación de Hilpert (constante m)	0.805
Resultados	
Coeficiente de convección (W/m^2*K)	1.15
Pérdida de calor (kW)	0.027

Las pérdidas totales de calor por convección libre en el tanque recolector de condensados a través de la superficie expuesta, se presenta en la tabla 50:

Tabla 50. Pérdidas totales de calor en el tanque recolector

Pérdidas de calor en las paredes del tanque	
Pérdida de calor paredes planas (kW)	0.22
Pérdida de calor superficie cilíndrica (kW)	0.027
Pérdidas totales de calor (kW)	0.247

3.1.2. Tubería de succión

3.1.2.1. Material de la tubería de succión

Se eligió acero cédula 40 para la tubería de retorno de condensado debido a su resistencia mecánica y térmica, adecuada para presiones y temperaturas típicas en sistemas de vapor. Este material cumple con la norma ASME B31.1, que regula el diseño y selección de materiales en tuberías industriales, asegurando la eficiencia en la operación.

3.1.2.2. Pérdidas primarias en la tubería de succión

Para la selección del diámetro de la tubería, se utilizará el gráfico extraído del libro "Práctica de los fluidos térmicos" [50]. El cual permite determinar el diámetro adecuado en función del caudal y la presión de la salida del condensado. Según la figura 37, se ha establecido que el diámetro de la tubería debe ser de 1/2 pulgada.

Tabla 51. Datos de entrada de la tubería de succión

Datos	
Caudal	0.213 m^3/s
Presión	0.79 kg/cm^2

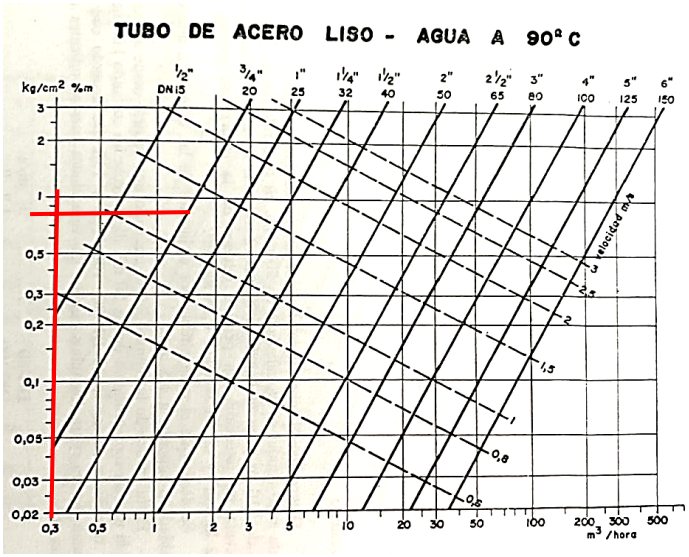


Figura 36. Tubo de acero liso - Agua a 90°C

Análisis: La tubería que conecta el tanque recolector al sistema se mantuvo la actual con un diámetro de 1/2 pulgada, ya que este tamaño es adecuado para manejar el caudal de condensado que ingresa al tanque, garantizando un flujo controlado y minimizando la posibilidad de sobrepresión. Por otro lado, la tubería de salida del tanque se seleccionó con un diámetro de 1 pulgada, no solo para cumplir con las especificaciones de la bomba asociada, sino también para reducir la velocidad del flujo en esta sección. Esto permite minimizar las pérdidas por fricción en la tubería, lo cual mejora la eficiencia del sistema y garantiza un desempeño óptimo de la bomba. En la tabla 52 se indican los resultados obtenidos (ver Anexo 14,17 y 18).

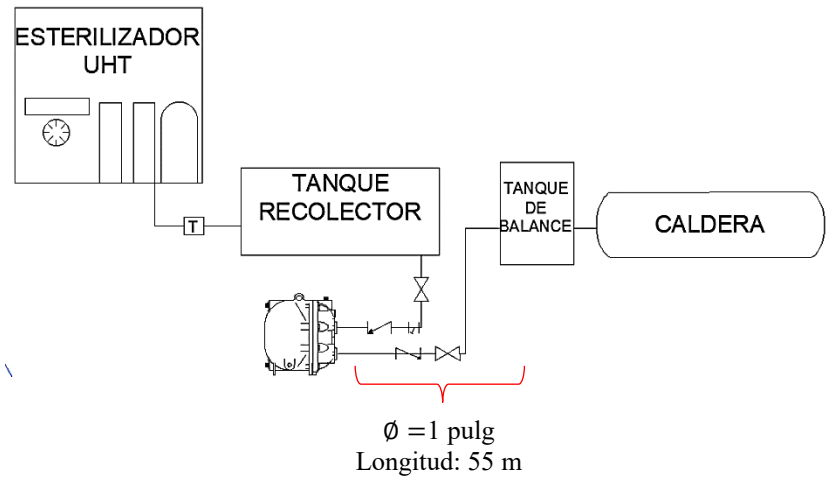


Figura 37. Dimensionamiento de tubería de succión

Tabla 52. Datos de los tramos de la tubería de succión

Datos	
Tamaño de tubería	1 plg, CD 40
Diámetro interno de la tubería (m)	0.0266
Peso específico del agua (kN/m^3)	9.5
Rugosidad del acero	4.6×10^{-5}
Longitud de la tubería (m)	55
Viscosidad cinemática (m^2/s)	3.41×10^{-7}
Velocidad (m/s)	0.43
Número de Reynolds	33542.52

Factor de fricción	0.027
Resultados	
Pérdidas primarias (m)	0.52

3.1.2.3. Pérdidas secundarias en la tubería de succión

Las pérdidas secundarias se consideraron tomando en cuenta los diferentes accesorios seleccionados, estos generan pérdidas adicionales de presión debido a las alteraciones en la velocidad y dirección del flujo.

Se obtuvieron los coeficientes de resistencia de cada accesorio, con la ecuación 25 y posteriormente se pueden visualizar los resultados en la tabla 53:

$$f_T = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{D}{\varepsilon}\right)}\right)\right]^2} \tag{25}$$

Donde:

$f_T =$ Factor de fricción

$D =$ Diámetro de la tuberia [m]

$\varepsilon =$ Rugosidad del material

Se determinarán las perdidas por accesorios de la tubería de succión con la ecuación 13:

$$h_a = \left(K_{entr} + 2\,K_{valv.\ globo} + 2\,K_{valv.\ ret} + K_{filtro\ Y} + 5\,K_{codo} + K_{salid}\right)\left(\frac{v^2}{2g}\right)$$

Tabla 53. Cálculos por accesorios primarias en la tubería de succión

Datos		
Tubería 1 plg, CD 40		
Accesorios	**f_T**	**Coeficientes de resistencia (K)**
Entrada	-	1
Válvula de globo	0.022	$340\ f_T = 7.48$
Válvula de retención (Tipo bola)	0.022	$150\ f_T = 3.3$
Filtro en Y	0.022	$2.5\ f_T = 0.055$
Codo 90°	0.022	$30\ f_T = 0.66$
Salida	-	1
Resultados		
Perdidas por accesorios (m)	0.26	

3.1.3. Bomba Mecánica

3.1.3.1. Material de la bomba mecánica

El material de la bomba centrífuga es el acero inoxidable, asegura resistencia a la corrosión, tolerancia a altas temperaturas y durabilidad, siendo ideal para manejar agua de condensado caliente en sistemas industriales.

3.1.3.2. Potencia de la bomba

Se obtuvo la cantidad de energía térmica transferida o liberada por el sistema con la ecuación 6:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{{v_1}^2}{2g} - h_a - h_f + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{{v_2}^2}{2g}$$

$$H_B = 6.5$$

Se calculó la potencia necesaria para que pueda suministrar la bomba, con la ecuación 26:

$$\text{Pot} = \frac{\gamma * Q * H_B}{\eta} \quad (26)$$

Donde:

$\text{Pot} = \text{Potencia de la bomba [kW]}$

$\gamma = \text{Peso específico del fluido [kN/m}^3\text{]}$

$Q = \text{Caudal [m}^3\text{/s]}$

$H_B = \text{Carga total de la bomba}$

$\eta = \text{Eficiencia de la bomba}$

$$\text{Pot} = 0.024 \text{ kW} \rightarrow 0.03 \text{ hp}$$

Análisis: Para transportar el condensado del tanque de recolección a la caldera, se seleccionó una bomba mecánica compacta con trampa de vapor modelo GT10L, diseñada específicamente para el retiro y la recuperación eficiente de condensados. Esta elección se fundamenta en su capacidad para operar sin necesidad de energía eléctrica, utilizando vapor como medio motriz, además, facilita su instalación en espacios reducidos, mientras que su confiabilidad asegura un manejo efectivo del caudal y una operación eficiente a largo plazo.

- **Bomba mecánica GT10L**

Transporta eficientemente el líquido desde tanques recolectores hacia calderas o depósitos intermedios. Funciona con aire comprimido, resiste altas temperaturas y materiales corrosivos, siendo ideal para optimizar procesos industriales con vapor.

Tabla 54. Datos técnicos de la bomba mecánica

Bomba mecánica	
Marca	TVL
Presión máx. de operación	150 psi
Temperatura máx. de operación	185 °C
Medio motriz	Vapor saturado
Medio bombeado	Condensado de vapor



Figura 38. Bomba mecánica GT10L

3.1.4. Válvula de globo

Se seleccionó una válvula de globo para tubería de 1” de acero inoxidable, cumpliendo con la norma ASME B16.34, que regula el diseño, materiales y clasificación de presión. Con ello se garantiza un control eficiente del flujo y compatibilidad con las condiciones operativas de sistemas industriales.

3.1.5. Filtro Y

El filtro tipo Y para tubería de 1” de acero inoxidable, seleccionado cumple con la norma ASME B16.34, garantizando su diseño y fabricación para aplicaciones de vapor y condensados. Este filtro elimina partículas sólidas del flujo, protegiendo los equipos aguas abajo.

3.1.6. Válvula de retención

Se seleccionó una válvula de retención para tubería de 1”’ de acero inoxidable para la recirculación de condensado, ya que previene el retroceso del fluido. Cumpliendo con

las normas ASME B16.34 y API 600 para garantizar su rendimiento en sistemas industriales.

3.2. Diseño del sistema de recuperación de condensados

El diseño que se realizó para el sistema de recuperación de condensados para la industria láctea busca optimizar el aprovechamiento del condensado generado durante los procesos térmicos, mediante la implementación de equipos y tuberías que permitan su recolección, transporte y reutilización eficiente en la caldera como se puede observar en la figura. Este diseño considera aspectos técnicos como caudales, presiones, temperatura del condensado y características de los materiales, asegurando un funcionamiento sostenible y compatible con las necesidades de producción.

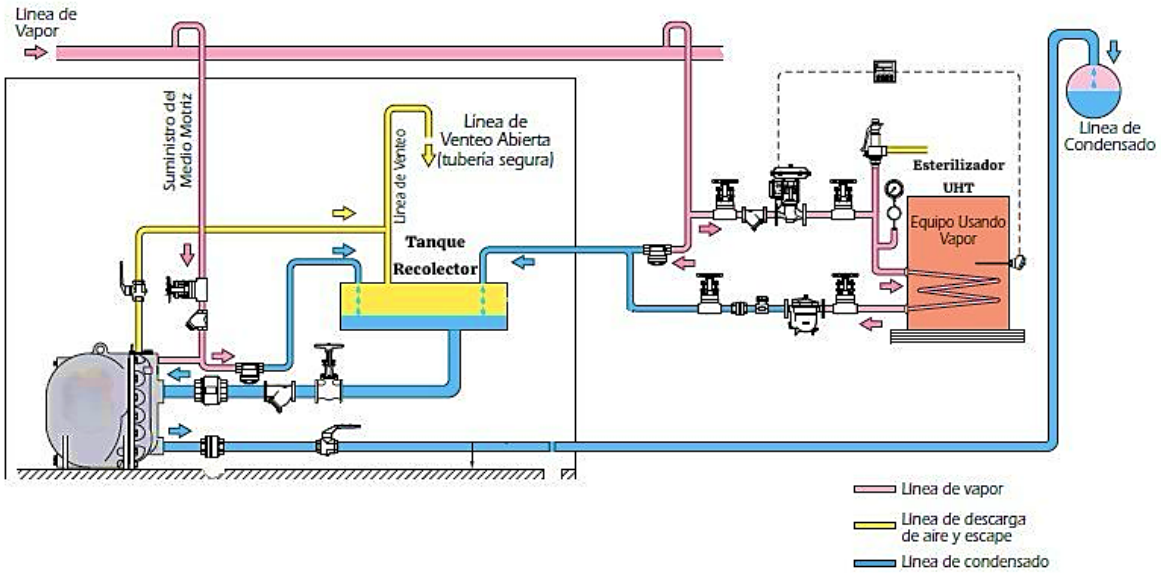


Figura 39. Sistema de recuperación de condensados

3.2.1. Calidad del condensado recolectado

La calidad del condensado de salida del sistema de recuperación debe ser óptima, lo que implica que debe estar libre de contaminantes y cumplir con las normas de calidad aplicables a los procesos industriales alimenticios (ver Anexo 22). Además, es fundamental verificar que el producto cumpla con las regulaciones de contacto indirecto con alimentos para garantizar la inocuidad en el proceso UHT. En el sistema

de recuperación de condensados, no fue necesario añadir un ablandador de agua (equipo) para controlar la calidad del agua de retorno, ya que el condensado fue caracterizado previamente y se determinó que los principales parámetros estaban dentro del rango adecuado para la entrada a las calderas. Sin embargo, esto no siempre es así, ya que, en ocasiones, los condensados pueden tener un pH ácido o una alta conductividad. Por esta razón, Lácteos Marco's utiliza el TQ SOFT ADL en el proceso de producción, el cual se coloca en el tanque de balance, ayudando a que tanto el agua potable inicial como los condensados recuperados se mantengan dentro de las condiciones óptimas.

El TQ SOFT ADL Es un producto diseñado para el tratamiento integral en la prevención de incrustaciones y corrosión en calderas de vapor alimentadas con aguas duras. Su composición incluye precipitantes de dureza, atrapadores de oxígeno, acondicionadores de lodos, inhibidores de corrosión y alcalinizantes reguladores de pH. Se trata, por lo tanto, de un compuesto completo que contiene todos los elementos necesarios para un tratamiento efectivo del agua de caldera (ver Anexo 23).

3.3. Presupuesto final

El desglose del presupuesto final para la implementación del sistema de recuperación de condensados presenta los costos asociados a todas las etapas del proyecto, desde la adquisición de equipos y materiales hasta la mano de obra. Este presupuesto está orientado a asegurar una ejecución eficiente y dentro de los parámetros económicos establecidos, considerando los elementos técnicos y operativos necesarios. Los precios presentados son estimados, con el objetivo de proporcionar una base para ajustar el valor final conforme avance la implementación.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tubería sin costura acero negro cédula 40 de 1" DIPAC	10	$ 33,00	$ 330,00
Tubería sin costura de acero negro cedula 40 de 1/2" DIPAC	1	$ 30,00	$ 30,00
Tanque de recolección de condensados de 1 metro cúbico, de acero A36	1	$ 1.200,00	$ 1.200,00
Válvula de globo de acero inoxidable de 1/2” Genebre.	1	$ 85,00	$ 85,00
Válvula de globo de acero inoxidable de 1” Genebre.	2	$ 120,00	$ 240,00
Filtro de malla de acero inoxidable de 1” Genebre.	1	$ 85,00	$ 85,00
Válvula de retención de acero inoxidable de 1” Genebre.	2	$ 50,00	$ 100,00
Filtro de malla de ½” Genebre.	1	$ 45,00	$ 45,00
Bomba de mecánica de recuperación de condensados TVL, Modelo: GT10L.	1	$ 4.500,00	$ 4.500,00
Accesorios para la conexión de tuberías (Uniones, codos, universales).	1	$ 180,00	$ 180,00
Accesorios sujeción de las tuberías (Abrazaderas, pernos, soportes).	1	$ 145,00	$ 145,00
Mano de obra del sistema de recuperación de condensados.	1	$ 950,00	$ 950,00
	SUBTOTAL		$ 7.890,00
	IVA 15%		$ 1.183,50
	TOTAL		**$ 9.073,50**

3.4. Ahorro de recursos operativos

3.4.1. Ahorro de combustible

La tabla 55 presenta los datos del consumo de diésel y la producción de leche UHT, reflejando el funcionamiento actual del sistema bajo las condiciones establecidas de temperatura del agua.

Tabla 55. Consumo de diésel y leche UHT procesada

Año	Mes	Consumo de diésel (galones)	Pago de diésel	Leche UHT procesada (litros)
2023	Diciembre	4.835,82	$ 15.522,99	572.160,00
2024	Enero	4.651,66	$ 11.908,24	550.370,00
	Febrero	4.501,13	$ 11.522,89	532.560,00
	Marzo	4.633,48	$ 13.715,11	548.220,00
	Abril	4.609,65	$ 13.644,56	545.400,00
	Mayo	4.864,73	$ 15.713,07	575.580,00
	Junio	4.608,64	$ 13.641,56	545.280,00
	Julio	4.912,65	$ 14.050,18	581.250,00
	Agosto	4.697,72	$ 13.435,47	555.820,00
	Septiembre	4.840,22	$ 13.165,39	572.680,00
	Octubre	4.737,10	$ 12.884,92	560.480,00
	Noviembre	4.646,33	$ 11.941,07	549.740,00
PROMEDIO ANUAL		**4.711,59**	**$13.428,79**	**557.461,67**

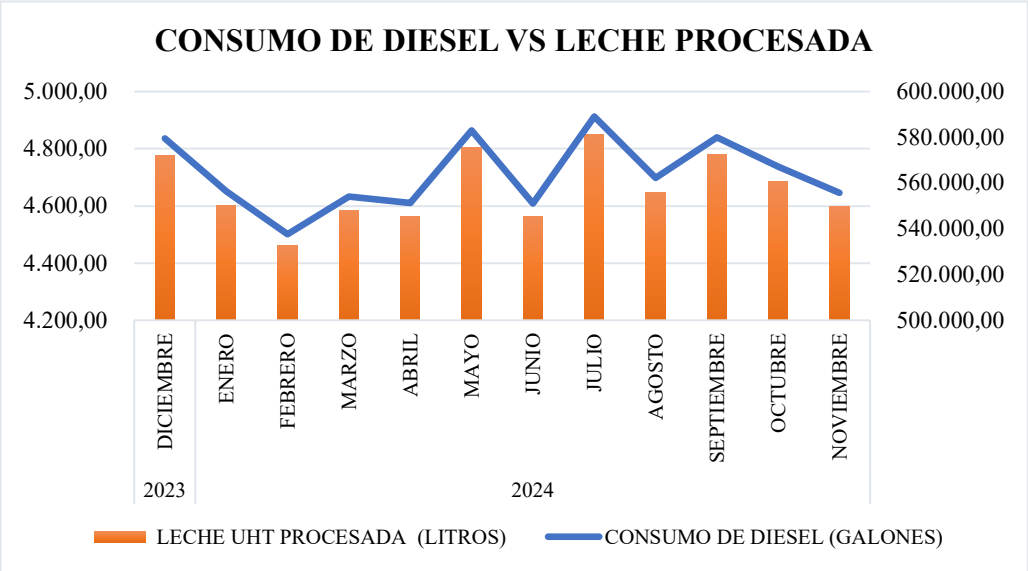


Figura 40. Consumo de diésel vs Leche UHT procesada

En la tabla 55 se indica la cantidad de diésel que se necesita para procesar una determinada cantidad de leche UHT mensual, en promedio se necesitaron 4711,59 galones de diésel para procesar 557.461,67 litros de leche, es decir que para procesar cada litro de leche se necesitó 0.0084 galones de diésel.

Mientras que en la figura 40 se muestra la relación existente entre el consumo de diésel frente a la leche UHT procesada en cada mes, se puede observar que la relación es directamente proporcional, tomando en cuenta que mientras más leche se procese, más diésel se va a necesitar.

En la tabla 56 se presenta la energía requerida con los valores correspondientes a dos condiciones específicas para el agua que ingresa a la caldera: una temperatura inicial de 15°C, correspondiente al agua fría proveniente de la red, y una temperatura de 75°C, que representa la condición estimada para el agua proveniente del tanque recolector de condensados.

Tabla 56. Ahorro de energía con el sistema de recuperación de condensados

Ingreso de agua a la caldera a 15°C	**Ingreso de agua a la caldera a 75°C**	**Ahorro**	
Energía total requerida	**Energía total requerida**	**Energía**	**%**
2703,7 kJ/kg	2452.9 kJ/kg	250.8 kJ/kg	**9,27%**

El retorno del agua a 75°C, optimiza la eficiencia térmica y disminuye el consumo de combustible. Mejora un 9.27% la eficiencia, lo que representa un ahorro mensual significativo.

3.4.2. Ahorro de agua

La tabla 57 presenta los datos del consumo de agua y la producción de leche UHT, reflejando el funcionamiento actual del sistema bajo las condiciones establecidas de temperatura del agua.

Tabla 57. Consumo de agua y leche UHT procesada

Año	Mes	Consumo de agua (m^3)	Pago de agua	Leche UHT procesada (litros)
2023	Diciembre	2.196,88	$ 2.636,26	572.160,00
2024	Enero	2.113,22	$ 2.747,18	550.370,00
	Febrero	2.044,83	$ 2.249,32	532.560,00
	Marzo	2.104,96	$ 2.525,96	548.220,00
	Abril	2.094,14	$ 2.722,38	545.400,00
	Mayo	2.210,02	$ 2.431,02	575.580,00
	Junio	2.093,67	$ 2.407,73	545.280,00
	Julio	2.231,79	$ 2.678,14	581.250,00
	Agosto	2.134,14	$ 2.454,27	555.820,00
	Septiembre	2.198,88	$ 2.638,66	572.680,00
	Octubre	2.152,04	$ 2.797,65	560.480,00
	Noviembre	2.110,80	$ 2.321,88	549.740,00
PROMEDIO ANUAL		**2.140,45**	**$ 2.550,87**	**557.461,67**

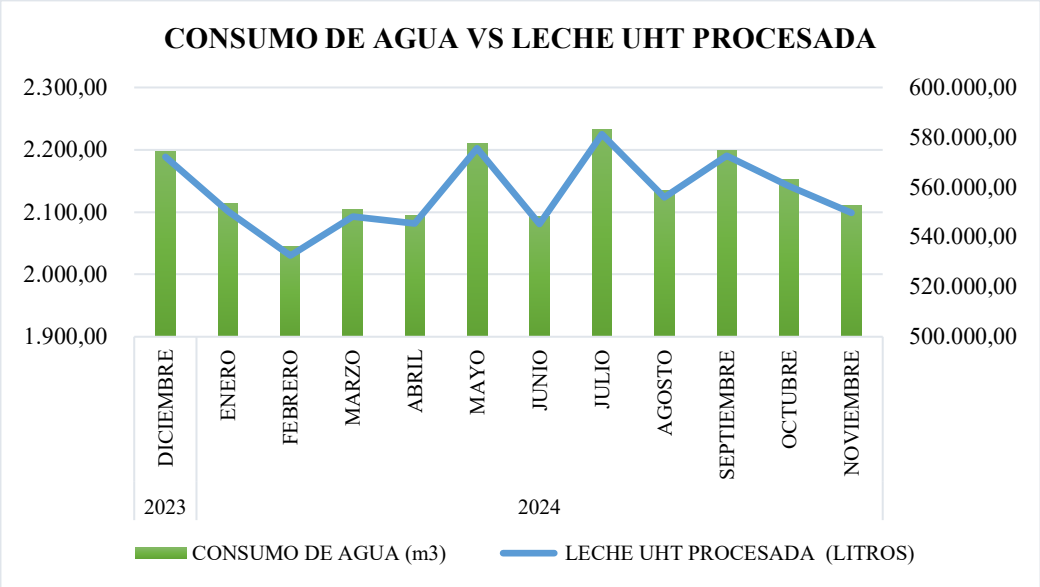


Figura 41. Consumo de agua vs Leche UHT procesada

En la tabla 57 se indica la cantidad de agua que se necesita para procesar una determinada cantidad de leche mensual, es así que en promedio se necesitaron 2140,45 m^3 de agua para procesar 557.461,67 litros de leche, es decir que para procesar cada litro de leche se necesitó 3.84 litros de agua.

En la figura 41 se muestra la relación existente entre el consumo de agua frente a la leche procesada en cada mes, se puede observar que la relación es directamente proporcional, tomando en cuenta que mientras más leche se procese, más agua se va a necesitar.

En la tabla 58, se presenta la cantidad de agua que consume la caldera a una temperatura de entrada de 15°C, mientras que con la recuperación de condensado a una temperatura de 75°C estimada proveniente desde el tanque recolector.

Tabla 58. Consumo de agua por la caldera

Agua total requerida por la caldera a 15°C	**Agua que reingresa a la caldera a 75°C**	**Ahorro**	
		Agua	**%**
10.16 m^3/h	9.94 m^3/h	0.213 m^3/h	**2.10 %**

Con el retorno del condensado, ingresando a la caldera a una temperatura superior a la del agua natural, garantiza un 2.10 % de ahorro de agua.

3.5. Evaluación de los resultados obtenidos

Después de analizar el consumo de agua y diésel con respecto a la producción de leche UHT, se estima el ahorro económico presentado en la tabla 59:

Tabla 59. Resultados con el sistema de recuperación de condensados

Consumo	**Costo anterior mensual**	**Costo mejorado mensual**	**Porcentaje de mejora**	**Beneficio mensual (dólares)**	**Beneficio anual (dólares)**
Diesel	$ 4711,59	$ 4274.82	9.27 %	$ 436.76	$ 5241.12
Agua	$ 2140,45	$ 2095.5	2.10 %	$ 44.95	$ 539.40
TOTAL	**$ 6852.04**	**$ 6370.32**	**7.17 %**	**$ 481.71**	**$ 5780.52**

Como se muestra en la tabla 59 se genera un 9.27% de mejora en el costo del consumo de diésel, mientras que para el costo del consumo de agua se genera una mejora del 2.10 %. Obteniendo un beneficio anual de $ 5780.52 con el sistema de recuperación de condensados.

3.6. Retorno de la inversión

Se determina el tiempo en el que se va a recuperar la inversión, sin considerar el valor del dinero en el tiempo:

$$\text{Retorno (meses)} = \frac{\text{Inversión total}}{\text{Beneficio mensual}}$$

$$\text{Retorno (meses)} = \frac{\$\ 9.073{,}50}{\$\ 481.71}$$

$$\mathbf{Retorno\ (meses) = 18.83\ meses}$$

Como se puede observar, el costo de la implementación del sistema de recuperación de condensados se recuperará en un periodo aproximado de 19 meses, además, durante la vida útil estimada del sistema, que es de aproximadamente 12-15 años, se generarían beneficios económicos mensuales cercanos a los $482. Esto resalta la viabilidad y eficiencia financiera del proyecto a largo plazo.

3.7. Evaluación ambiental

Para evaluar el impacto ambiental, se utilizarán los valores de emisiones de CO_2 proporcionados por Sun Earth Tools, determinando así la cantidad de CO_2 emitido por el consumo de combustible y el efecto favorable relacionado con la reducción de emisiones hacia la atmósfera.

- 1 galón de diésel genera 9.94 kg de CO_2

Con el sistema de recuperación de condensados se deja de generar:

$$4274.82\ \text{gal de diésel} * 9.94\ \text{kg de } CO_2 = \mathbf{38546.28\ kg\ de\ CO_2\ al\ año}$$

Se deja de generar un total de 38546.28 kg de CO_2 al año, reduciendo de esta manera el impacto ambiental que los procesos industriales demandan.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se determinó que la leche UHT, con una producción diaria de 23840 lt, representa la mayor demanda de proceso en la planta, en comparación con la producción de yogurt (2700 lt) y queso (300 kg). La diferencia en la producción, evidenció un mayor desperdicio de condensado en el proceso de leche UHT. Por lo tanto, se enfocó el diseño del sistema de recuperación de condensados en esta área.
- El sistema de generación de vapor opera bajo condiciones de presión absoluta de 746.88 kPa y temperatura de 168 °C, suministrando un caudal de vapor de 837 kg/h. Estas condiciones evidencian una demanda térmica significativa, lo que subraya la importancia de implementar estrategias para reducir pérdidas y mejorar el uso del vapor generado.
- Entre las alternativas evaluadas, el sistema venteado se identificó como la mejor opción debido a su simplicidad, menor costo inicial, facilidad de implementación. Y su capacidad de recuperar el condensado generado, a temperaturas cercanas a 75°C, siendo ideal para aplicaciones donde la inversión inicial es un factor crítico.
- Para el diseño del sistema de recuperación de condensados, se seleccionaron componentes clave que garantizan un rendimiento óptimo y eficiente en la operación. El sistema incluye un tanque de almacenamiento de 1 m^3, una bomba mecánica modelo (GT10L), dos válvulas de globo de 1 pulgada para control de flujo, dos válvulas check de 1 pulgada para evitar el retroceso del flujo, un filtro de malla de acero inoxidable de 1 pulgada para asegurar la calidad del condensado y tubería de acero negro de cédula 40 para una conducción segura y duradera del condensado.

- Se determinó que las mayores pérdidas térmicas en el sistema se producen debido a la salida de gases de combustión (75.4 kW) y las pérdidas por combustión en el quemador (64.01 kW). Mientras que, las menores pérdidas corresponden a las paredes de la caldera (4.23 kW) y a la chimenea (2.9 kW). Sin embargo, la pérdida térmica más significativa se produce por los condensados en el área de leche UHT (76.74 kW), representa la mayor cantidad de energía recuperable, la cual será almacenada en el tanque para ser retornada a la caldera.
- El diseño del sistema venteado permite recolectar condensados a una temperatura promedio de 70 °C, lo que optimiza su reutilización como agua de alimentación para la caldera. Este sistema genera un ahorro del 9.27 % en combustible y del 2.10 % en consumo de agua, con una inversión de $ 9.073.50 que se recupera en 18.83 meses, destacando su viabilidad económica.
- La recuperación de condensados mediante el sistema venteado contribuye a la reducción de emisiones, evitando la liberación de 38546.28 kg de CO_2 al año. Fortaleciendo el compromiso ambiental de la planta, al mismo tiempo que reduce los costos de operación, haciendo del sistema una solución integral para mejorar la sostenibilidad del proceso de producción de leche UHT.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar un sistema de monitoreo en tiempo real de las condiciones de operación del sistema venteado, como la temperatura y presión del condensado.
- Establecer un programa de mantenimiento preventivo para las válvulas, trampas de vapor y tuberías del sistema. Con ello se garantizará que el sistema continúe operando de manera eficiente, minimizando los riesgos de corrosión y desgaste, y extendiendo la vida útil de los equipos.
- Evaluar la condición del condensado mediante pruebas físico-químicas, para garantizar la calidad del condensado que retornará a la caldera.

- Capacitar al personal técnico en el manejo adecuado del sistema venteado para asegurar que el proceso de recuperación de condensados se realice correctamente.

BIBLIOGRAFIA

[1] A. Prestes, C. Helm, E. Esmerino, R. Silva, and E. Prudencio, “Conventional and alternative concentration processes in milk manufacturing: a comparative study on dairy properties,” *Food Science and Technology (Brazil)*, vol. 42, 2022, doi: 10.1590/fst.08822.

[2] A. Feil *et al.*, “Sustainability in the dairy industry: a systematic literature review”, doi: 10.1007/s11356-020-09316-9/Published.

[3] O. Achaw and E. Danso, *Chemical and process industries: With examples of industries in Ghana*. Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-79139-1.

[4] M. Barma, R. Saidur, S. Rahman, A. Allouhi, B. Akash, and S. Sait, “A review on boilers energy use, energy savings, and emissions reductions,” 2017, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.187.

[5] ONU, “Energía industrial y rural en China: Las innovadoras iniciativas del sector privado abren camino.” Accessed: Apr. 13, 2024. [Online]. Available: https://www.un.org/es/chronicle/article/energia-industrial-y-rural-en-china-las-innovadoras-iniciativas-del-sector-privado-abren-camino

[6] A. Kaviani, A. Aslani, R. Zahedi, H. Ahmadi, and M. Malekli, “A new approach for energy optimization in dairy industry,” *Clean Eng Technol*, vol. 8, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.clet.2022.100498.

[7] A. Muravyev, “Gas Condensate Wells: Challenges of Sampling, Testing and Production Optimization,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 15, Aug. 2022, doi: 10.3390/en15155419.

[8] R. Yoalbys, H. Laurencio, A. Sánchez, Y. Camaraza, and M. Salazar, “Thermo-energetic analysis of the steam generation system in a 49 MW power plant,” *Energy Effic*, 2020, doi: 10.29019/enfoque.v11n3.653.

[9] A. Suárez, T. Fidalgo, and F. Riera, “Recovery of dairy industry wastewaters by reverse osmosis. Production of boiler water,” *Sep Purif Technol*, vol. 133, pp. 204–211, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.seppur.2014.06.041.

[10] L. Giordano and M. Benedetti, “A methodology for the identification and characterization of low-temperature waste heat sources and sinks in industrial processes: Application in the Italian dairy sector,” *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.3390/en15010155.

[11] N. Mohammadaliha, M. Amani, and M. Bahrami, “Thermal performance of heat and water recovery systems: Role of condensing heat exchanger material,” *Clean Eng Technol*, vol. 1, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.clet.2020.100024.

[12] Y. Cengel and A. Ghajar, *Transferencia De Calor y Masa*, 4th ed. México: Mc Graw Hill, 2011.

[13] Y. Cengel and M. Boles, *Termodinámica*, 7th ed. México: Mc Graw Hill, 2012.

[14] R. Mott and J. Untener, *Mecánica de Fluidos*, 7 edición. Mexico: Pearson Educación, 2015.

[15] I. Martín, R. Salcedo, and R. Font, *Mecánica de Fluidos: Flujo interno de fluidos incompresibles y compresibles*, 1 st edition. España: Universidad de Alicante, 2011.

[16] J. K. Avor and C.-K. Chang, “Reliability analysis of application of variable frequency drive on condensate pump in nuclear power plant,” *Journal of International Council on Electrical Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 8–14, Jan. 2019, doi: 10.1080/22348972.2018.1564548.

[17] A. Meroni, B. Zühlsdorf, B. Elmegaard, and F. Haglind, “Design of centrifugal compressors for heat pump systems,” *Appl Energy*, vol. 232, pp. 139–156, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.09.210.

[18] A. Adesogan and G. Dahl, “MILK Symposium Introduction: Dairy production in developing countries,” Nov. 01, 2020, *Elsevier Inc.* doi: 10.3168/jds.2020-18313.

[19] K. Comerford, G. Miller, A. Boileau, S. Masiello Schuette, J. Giddens, and K. Brown, “Global Review of Dairy Recommendations in Food-Based Dietary Guidelines,” *Front Nutr*, vol. 8, May 2021, doi: 10.3389/fnut.2021.671999.

[20] J. Hayek, M. Bachawati, and R. Manneh, “Life cycle assessment and water footprint scarcity of yogurt,” *Environ Dev Sustain*, vol. 23, no. 12, pp. 18362–18393, Dec. 2021, doi: 10.1007/s10668-021-01445-6.

[21] R. Guerreiro, E. Jerónimo, S. Luz, H. Pinheiro, and A. Prazeres, “Cheese manufacturing wastewater treatment by combined physicochemical processes for reuse and fertilizer production,” *J Environ Manage*, vol. 264, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110470.

[22] J. García, R. Castillo, and L. Naranjo, “Reporte del índice de producción de la industria manufacturera (IPI-M),” May 2017.

[23] D. Lindsay, R. Robertson, R. Fraser, S. Engstrom, and K. Jordan, “Heat induced inactivation of microorganisms in milk and dairy products,” Oct. 01, 2021, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105096.

[24] H. Deeth, “The effect of UHT processing and storage on milk proteins,” in *Milk Proteins: From Expression to Food*, Elsevier, 2019, pp. 385–421. doi: 10.1016/B978-0-12-815251-5.00010-4.

[25] R. Bottiroli, A. Troise, E. Aprea, V. Fogliano, F. Gasperi, and P. Vitaglione, “Understanding the effect of storage temperature on the quality of semi-skimmed UHT hydrolyzed-lactose milk: an insight on release of free amino acids, formation of volatiles organic compounds and browning,” *Food Research International*, vol. 141, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.foodres.2021.110120.

[26] H. Deeth, “The effect of UHT processing and storage on milk proteins,” in *Milk Proteins: From Expression to Food*, Elsevier, 2019, pp. 385–421. doi: 10.1016/B978-0-12-815251-5.00010-4.

[27] A. Feil *et al.*, “Sustainability in the dairy industry: a systematic literature review,” 2023, doi: 10.1007/s11356-020-09316-9/Published.

[28] E. Masanet, A. Brush, and E. Worrell, “Energy efficiency opportunities in the U.S. dairy processing industry,” Aug. 01, 2021, *Taylor and Francis Inc.* doi: 10.1080/01998595.2014.10876999.

[29] F. Gutiérrez, “Modeling of fire tube boilers,” *Appl Therm Eng*, vol. 31, no. 16, pp. 3463–3478, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.07.001.

[30] D. Aguilar Vizcarra, D. Esenarro, and C. Rodriguez, “Three steps mixed (Fire tube–water tube) vertical boiler to optimize thermal performance,” *Fluids*, vol. 6, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.3390/fluids6030093.

[31] T. Sathish *et al.*, “Advancement of steam generation process in water tube boiler using Taguchi design of experiments,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 27, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101247.

[32] K. Lin and H. Wu, “Emissions and energy/exergy efficiency in an industrial boiler with biodiesel and other fuels,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 50, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103474.

[33] S. Foslie, B. Knudsen, and M. Korpås, “Integrated design and operational optimization of energy systems in dairies,” *Energy*, vol. 281, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.128242.

[34] B. Prasartkaew and S. Sukpancharoen, “An experimental investigation on a novel direct-fired porous boiler for the low-pressure steam applications,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 28, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101454.

[35] M. Jabari, H. Sawalha, A. Pugazhendhi, and E. Rene, “Cleaner production and resource recovery opportunities in leather tanneries: Technological applications and perspectives,” Dec. 01, 2021, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.biteb.2021.100815.

[36] J. Minj, Aparna Sudhakaran, and A. Kumari, *Dairy processing: Advanced research to applications*. Springer Singapore, 2020. doi: 10.1007/978-981-15-2608-4.

[37] L. Giordano, M. Benedetti, and M. Salvio, “Estimating the Potential for Waste Heat Recovery in Italian Dairy Sector Using a Bottom-Up Approach and Data from Energy Audits,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 12, Jun. 2023, doi: 10.3390/su15129719.

[38] H. Pawlak *et al.*, “Hydrothermal Carbonisation as Treatment for Effective Moisture Removal from Digestate—Mechanical Dewatering, Flashing-Off, and

Condensates' Processing," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/en16135102.

[39] M. Yan and N. Holden, "Water use efficiency of Irish dairy processing," *J Dairy Sci*, vol. 102, no. 10, pp. 9525–9535, Oct. 2019, doi: 10.3168/jds.2019-16518.

[40] J. Vélez and M. Aguilar, "Evaporation in the dairy industry," *Evaporation Technology in Food Processing*, pp. 137–181, Jan. 2024, doi: 10.1016/B978-0-12-818764-7.00007-4.

[41] TLV, "Recuperación de Condensado: Sistemas Venteados vs. Presurizados." Accessed: Oct. 12, 2024. [Online]. Available: https://www.tlv.com/es-mx/steam-info/steam-theory/condensate-recovery/vented-pressurized-condensate-recovery

[42] York Shipley Global, "4 Series Packaged Firetube Boilers Installation, Operation and Maintenance Manual," New York.

[43] Baltur, "Quemador de gasóleo funcionamiento doble etapa," Mexico.

[44] Weg, "W22-Motor trifásico," Brasil. [Online]. Available: www.weg.net

[45] Underwriters Laboratories, "Model FH oil burners," Chicago.

[46] HidroTec, "Bomba Thebe P-11/5 NR - 3cv WEG trif(220/380 V)," México.

[47] ESSI S.A.S, "Esterilizador Tubular," Santander.

[48] TLV, "Trampa de vapor de flotador libre con venteo de aire termostático," Japón. [Online]. Available: https://www.tlv.com

[49] F. Incropera, "Fundamentos de transferencia de calor," 2000.

[50] M. Miquel, "Práctica de los fluidos térmicos," 1967.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha técnica de la caldera principal

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

Realizado: Daniel Barona

Revisado: Ing. Santiago Cabrera

Aprobado: Ing. Santiago Cabrera

CALDERA PRINCIPAL

FICHA TÉCNICA

Fabricación	1991	**Ubicación**	Área de generación vapor
Modelo	SPHV-125-2	**Potencia**	125 BHP
Marca	York Shipley	**No. Serie**	91-18391 / H-98150
Capacidad	4184000 BTU/h	**Presión**	1034 kPa (150 psi)

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Altura	2.16 m	**Ancho**	1.66 m	**Largo**	2.75 m

FUNCIÓN	**FOTO DE LA MÁQUINA**
5. Generación rápida de vapor para procesos de pasteurización. 6. Suministro continuo de agua caliente para tareas en la industria.	

QUEMADOR

Marca	Baltur	**Caudal**	110 Sm^3/h
Capacidad	1226 kW	**Consumo de combustible**	15.5 gal/h
Tensión Alimentación	380 V	**Frecuencia**	60 Hz

<table>
<tr><th colspan="6">CARACTERÍSTICAS GENERALES</th></tr>
<tr><td>Altura</td><td>700 mm</td><td>Ancho</td><td>1070 mm</td><td>Profundidad</td><td>800 mm</td></tr>
<tr><th colspan="3">FUNCIÓN</th><th colspan="3">FOTO DE LA MÁQUINA</th></tr>
<tr><td colspan="3">Descompone el combustible en pequeñas gotas y mejora la eficiencia de la combustión
Proporciona la cantidad adecuada de aire para reducir las emisiones contaminantes</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

Anexo 2. Ficha técnica motor y bomba de la caldera principal

<table>
<tr><td colspan="4">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA</td></tr>
<tr><td colspan="4">Realizado: Daniel Barona</td></tr>
<tr><td colspan="4">Revisado: Ing. Santiago Cabrera</td></tr>
<tr><td colspan="4">Aprobado: Ing. Santiago Cabrera</td></tr>
<tr><td colspan="4">MOTOR Y BOMBA DE AGUA DEL CALDERA PRINCIPAL</td></tr>
<tr><td colspan="4">FICHA TÉCNICA</td></tr>
<tr><td colspan="4">MOTOR</td></tr>
<tr><td>Modelo</td><td>213/5T</td><td>Ubicación</td><td>Área de generación de vapor</td></tr>
<tr><td>Frecuencia</td><td>60 Hz</td><td>Potencia</td><td>10 hp</td></tr>
<tr><td>Marca</td><td>Weg</td><td>RPM</td><td>3520</td></tr>
<tr><td>Amperaje (220 V)</td><td>25 A</td><td>Peso</td><td>72 kg</td></tr>
<tr><td colspan="2">FUNCIÓN</td><td colspan="2">FOTO DE LA MÁQUINA</td></tr>
<tr><td colspan="2">• Regula el caudal y la presión del agua que ingresa a la caldera.</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4">BOMBA</td></tr>
<tr><td>Modelo</td><td>PMK40/10</td><td>Ubicación</td><td>Área de generación de vapor</td></tr>
<tr><td>Marca</td><td>Saer</td><td>Potencia</td><td>10 hp</td></tr>
<tr><td>Caudal</td><td>5-17 m^3/h</td><td>Presión</td><td>10 bar</td></tr>
<tr><td colspan="4">FUNCIÓN</td></tr>
<tr><td colspan="4">• Impulsa y transporta el agua a la caldera, asegurando caudal y presión para generar vapor.</td></tr>
</table>

Anexo 3. Ficha técnica de la caldera emergente

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

Realizado: Daniel Barona

Revisado: Ing. Santiago Cabrera

Aprobado: Ing. Santiago Cabrera

CALDERA EMERGENTE

FICHA TÉCNICA

Material de fabricación	Acero ASTM2380/A35	**Ubicación**	Área de generación vapor
Frecuencia	60 Hz	**Potencia**	80 BHP
Marca	Nacional	**Presión**	120 psi
Peso	6 ton	**Capacidad**	2678000 BTU/h

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Altura	2.10 m	**Ancho**	1.39 m	**Largo**	2.61 m

FUNCIÓN

- Activarse durante momentos de alta demanda de vapor.
- Suministro de vapor de respaldo cuando se encuentre fuera de servicio el principal.

FOTO DE LA MÁQUINA



QUEMADOR

Marca	Wayne	**Modelo**	FH
Motor	½ hp	**Capacidad**	4-13 GPH
RPM	3450	**Peso**	35 kg

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Altura	350 mm	**Ancho**	287 mm	**Profundidad**	554 mm

FUNCIÓN	FOTO DE LA MÁQUINA
• Asegura una mezcla adecuada de aire y combustible. • Permite ajustes en la operación para responder a cambios en la demanda de vapor.	

Anexo 4. Ficha técnica del motor-bomba de la caldera emergente

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

Realizado: Daniel Barona

Revisado: Ing. Santiago Cabrera

Aprobado: Ing. Santiago Cabrera

MOTOR-BOMBA DE AGUA DEL CALDERA EMERGENTE

FICHA TÉCNICA

Modelo	P-11/5 NR	**Ubicación**	Área de generación de vapor
Frecuencia	50 Hz	**Potencia**	3 hp
Marca	Thebe	**RPM**	3500
Caudal	5-25 m^3/h	**Peso**	33 kg

FUNCIÓN	**FOTO DE LA MÁQUINA**
• Bombear y transferir el agua cuando requiera la caldera emergente para solventar la demanda de vapor.	

Anexo 5. Ficha técnica del esterilizador UHT.

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

Realizado: Daniel Barona

Revisado: Ing. Santiago Cabrera

Aprobado: Ing. Santiago Cabrera

ESTERILIZADOR UHT

FICHA TÉCNICA

Modelo	ESSIUHT-T3	**Ubicación**	Área de producción de leche UHT
Frecuencia	60 Hz	**Potencia**	13 kW
Marca	Essi	**Consumo de vapor**	223 kg/h
Peso	3850 kg	**Capacidad**	3000 lt

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Altura	2.5 m	**Ancho**	2.65 m	**Largo**	7.20 m

FUNCIÓN	**FOTO DE LA MÁQUINA**
7. Utiliza altas temperaturas para eliminar microorganismos, garantizando productos lácteos seguros 8. Al aplicar calor durante cortos periodos, preserva los nutrientes esenciales en la leche, mejorando su calidad y valor nutricional.	

Anexo 6. Ficha técnica de la trampa de vapor

<table>
<tr><td colspan="4">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA</td></tr>
<tr><td colspan="4">Realizado: Daniel Barona</td></tr>
<tr><td colspan="4">Revisado: Ing. Santiago Cabrera</td></tr>
<tr><td colspan="4">Aprobado: Ing. Santiago Cabrera</td></tr>
<tr><td colspan="4">TRAMPA DE VAPOR</td></tr>
<tr><td colspan="4">FICHA TÉCNICA</td></tr>
<tr><td>Modelo</td><td>J3X-10/A</td><td>Ubicación</td><td>Área de producción de leche UHT</td></tr>
<tr><td>Presión diferencial máxima</td><td>10 bar</td><td>Temperatura máxima</td><td>220 °C</td></tr>
<tr><td>Marca</td><td>TLV</td><td>Conexión</td><td>Roscada</td></tr>
<tr><td>Tamaño</td><td>20 mm</td><td>N° orificio</td><td>10</td></tr>
<tr><td colspan="2">FUNCIÓN</td><td colspan="2">FOTO DE LA MÁQUINA</td></tr>
<tr><td colspan="2">• Eliminar el condensado del sistema, permitiendo el paso solo de vapor útil.</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

Anexo 7. Tabla de presiones agua saturada

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones (*conclusión*)

		Volumen específico, m^3/kg		*Energía interna, kJ/kg*			*Entalpía, kJ/kg*			*Entropía, kJ/kg · K*		
Pres., P kPa	Temp. sat., T_{sat} °C	Liq. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Liq. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Liq. sat, h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Liq. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837
800	170.41	0.001115	0.24035	719.97	1856.1	2576.0	720.87	2047.5	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
850	172.94	0.001118	0.22690	731.00	1846.9	2577.9	731.95	2038.8	2770.8	2.0705	4.5705	6.6409
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	1838.1	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0941	4.5273	6.6213
950	177.66	0.001124	0.20411	751.67	1829.6	2581.3	752.74	2022.4	2775.2	2.1166	4.4862	6.6027
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737
6000	275.59	0.001319	0.032449	1205.8	1384.1	2589.9	1213.8	1570.9	2784.6	3.0275	2.8627	5.8902
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.0	1323.0	2581.0	1267.5	1505.2	2772.6	3.1220	2.6927	5.8148

Anexo 8. Propiedades de algunos combustibles e hidrocarburos comunes

TABLA A-27

Propiedades de algunos combustibles e hidrocarburos comunes

Combustible (fase)	Fórmula	Masa molar, kg/kmol	Densidad,[1] kg/L	Entalpía de vaporización,[2] kJ/kg	Calor específico,[1] c_p kJ/kg · K	Poder calorífico superior,[3] kJ/kg	Poder calorífico inferior,[3] kJ/kg
Acetileno (*g*)	C_2H_2	26.038	—	—	1.69	49,970	48,280
Benceno (ℓ)	C_6H_6	78.114	0.877	433	1.72	41,800	40,100
Butano (ℓ)	C_4H_{10}	58.123	0.579	362	2.42	49,150	45,370
Carbono (*s*)	C	12.011	2	—	0.708	32,800	32,800
Decano (ℓ)	$C_{10}H_{22}$	142.285	0.730	361	2.21	47,640	44,240
Diesel ligero (ℓ)	$C_nH_{1.8n}$	170	0.78–0.84	270	2.2	46,100	43,200
Diesel pesado (ℓ)	$C_nH_{1.7n}$	200	0.82–0.88	230	1.9	45,500	42,800
Etano (*g*)	C_2H_6	30.070	—	172	1.75	51,900	47,520
Etanol (ℓ)	C_2H_6O	46.069	0.790	919	2.44	29,670	26,810
Gas natural (*g*)	$C_nH_{3.8n}N_{0.1n}$	18	—	—	2	50,000	45,000
Gasolina (ℓ)	$C_nH_{1.87n}$	100–110	0.72–0.78	350	2.4	47,300	44,000
Heptano (ℓ)	C_7H_{16}	100.204	0.684	365	2.24	48,100	44,600
Hexano (ℓ)	C_6H_{12}	84.161	0.673	392	1.84	47,500	44,400
Hexeno (ℓ)	C_6H_{14}	86.177	0.660	366	2.27	48,310	44,740
Hidrógeno (*g*)	H_2	2.016	—	—	14.4	141,800	120,000
Isopentano (ℓ)	C_5H_{12}	72.150	0.626	—	2.32	48,570	44,910
Metano (*g*)	CH_4	16.043	—	509	2.20	55,530	50,050
Metanol (ℓ)	CH_4O	32.042	0.790	1168	2.53	22,660	19,920
Monóx. de carbono (*g*)	CO	28.013	—	—	1.05	10,100	10,100
Octano (ℓ)	C_8H_{18}	114.231	0.703	363	2.23	47,890	44,430
1-Penteno (ℓ)	C_5H_{10}	70.134	0.641	363	2.20	47,760	44,630
Propano (ℓ)	C_3H_8	44.097	0.500	335	2.77	50,330	46,340
Tolueno (ℓ)	C_7H_8	92.141	0.867	412	1.71	42,400	40,500

Anexo 9. Tabla de temperaturas de agua saturada

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

		Volumen específico, m^3/kg		*Energía interna, kJ/kg*			*Entalpía, kJ/kg*			*Entropía, kJ/kg · K*		
Temp., T °C	Pres. sat., P_{sat} kPa	Líq. sat., v_f	Vapor sat., v_g	Líq. sat., u_f	Evap., u_{fg}	Vapor sat., u_g	Líq. sat., h_f	Evap., h_{fg}	Vapor sat., h_g	Líq. sat., s_f	Evap., s_{fg}	Vapor sat., s_g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827

Anexo 10. Propiedades de la atmósfera a gran altitud

TABLA A-16

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, m	Temperatura, °C	Presión, kPa	Gravedad g, m/s²	Velocidad del sonido, m/s	Densidad, kg/m³	Viscosidad μ, kg/m · s	Conductividad térmica, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783×10^{-5}	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
1000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0245
1800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2400	−0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2600	−1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2800	−3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3000	−4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3200	−5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3400	−7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3600	−8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3800	−9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4000	−10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4200	−12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4400	−13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4600	−14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4800	−16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5000	−17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5200	−18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5400	−20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5600	−21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5800	−22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6000	−24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6200	−25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6400	−26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6600	−27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6800	−29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218

Anexo 11. Datos tomados en sitio área UHT

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **CARRERA DE MECÁNICA**	
Realizado: Daniel Barona	
Revisado: Ing. Santiago Cabrera	
Aprobado: Ing. Santiago Cabrera	
Fecha: 15/10/2024	
Hora: 06:30 am	
TOMA DE DATOS EN SITIO	
ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LECHE UHT	
Presión de entrada	98 psi (675 kPa)
Temperatura de entrada	172 °C
Presión de salida	71.88 kPa
Temperatura de salida	85 °C

Anexo 12. Datos tomados en sitio área de yogurt y queso

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA	
Realizado: Daniel Barona	
Revisado: Ing. Santiago Cabrera	
Aprobado: Ing. Santiago Cabrera	
Fecha: 24/10/2024	
TOMA DE DATOS EN SITIO	
ÁREA DE PRODUCCIÓN DE YOGURT	
Hora: 06:22 am	
Presión de entrada	23 psi (158 kPa)
Temperatura de entrada	130 °C
Presión de salida	71.88 kPa
Temperatura de salida	75 °C
ÁREA DE PRODUCCIÓN DE QUESO	
Hora: 7:50 am	
Presión de entrada	30 psi (206 kPa)
Temperatura de entrada	137 °C
Presión de salida	71.88 kPa
Temperatura de salida	79 °C

Anexo 13. Datos de caudales tomados en sitio

<table>
<tr><td colspan="2">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA</td></tr>
<tr><td colspan="2">Realizado: Daniel Barona</td></tr>
<tr><td colspan="2">Revisado: Ing. Santiago Cabrera</td></tr>
<tr><td colspan="2">Aprobado: Ing. Santiago Cabrera</td></tr>
<tr><td colspan="2">Fecha: 01/11/2024</td></tr>
<tr><td colspan="2">TOMA DE DATOS EN SITIO</td></tr>
<tr><td colspan="2">CAUDAL DE SALIDA</td></tr>
<tr><td colspan="2">ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LECHE UHT</td></tr>
<tr><td>HORA: 5:45 am</td><td>HORA: 7:15 am</td></tr>
<tr><td>Volumen: 0.0036 m^3</td><td>Volumen: 0.0043 m^3</td></tr>
<tr><td>Tiempo: 1 min</td><td>Tiempo: 1 min</td></tr>
<tr><td>HORA: 8:23 am</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>Volumen: 0.0028 m^3</td></tr>
<tr><td>Tiempo: 1 min</td></tr>
<tr><td colspan="2">ÁREA DE PRODUCCIÓN DE YOGURT</td></tr>
<tr><td>HORA: 6:17 am</td><td>HORA: 7:00 am</td></tr>
<tr><td>Volumen: 0.0010 m^3</td><td>Volumen: 0.00079 m^3</td></tr>
<tr><td>Tiempo: 1 min</td><td>Tiempo: 1 min</td></tr>
<tr><td colspan="2">ÁREA DE PRODUCCIÓN DE QUESO</td></tr>
<tr><td>HORA: 6:00 am</td><td>HORA: 7:30 am</td></tr>
<tr><td>Volumen: 0.00053 m^3</td><td>Volumen: 0.00078 m^3</td></tr>
<tr><td>Tiempo: 1 min</td><td>Tiempo: 1 min</td></tr>
</table>

Anexo 14. Diámetros de tuberías de acero cedula 40

TABLA F.1 Cédula 40

Tamaño nominal de la tubería		Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Área de flujo	
NPS (in)	DN (mm)	(in)	(mm)	(in)	(mm)	(in)	(ft)	(mm)	(ft^2)	(m^2)
⅛	6	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660×10^{-5}
¼	8	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717×10^{-5}
⅜	10	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236×10^{-4}
½	15	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960×10^{-4}
¾	20	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437×10^{-4}
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574×10^{-4}
1¼	32	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653×10^{-4}
1½	40	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314×10^{-3}
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168×10^{-3}
2½	65	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090×10^{-3}
3	80	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768×10^{-3}
3½	90	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381×10^{-3}
4	100	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213×10^{-3}
5	125	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291×10^{-2}
6	150	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864×10^{-2}
8	200	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226×10^{-2}
10	250	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090×10^{-2}
12	300	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219×10^{-2}
14	350	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729×10^{-2}
16	400	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	450	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443

Anexo 15. Emisividad de las superficies

TABLA A-18

Emisividades de las superficies
a) Metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, ε
Aluminio		
Pulido	300-900	0.04-0.06
Lámina comercial	400	0.09
Intensamente oxidado	400-800	0.20-0.33
Anodizado	300	0.8
Bismuto brillante	350	0.34
Latón		
Intensamente pulido	500-650	0.03-0.04
Pulido	350	0.09
Placa mate	300-600	0.22
Oxidado	450-800	0.6
Cromo pulido	300-1 400	0.08-0.40
Cobre		
Intensamente pulido	300	0.02
Pulido	300-500	0.04-0.05
Lámina comercial	300	0.15
Oxidado	600-1 000	0.5-0.8
Oxidado en negro	300	0.78
Oro		
Intensamente pulido	300-1 000	0.03-0.06
Hoja brillante	300	0.07
Hierro		
Intensamente pulido	300-500	0.05-0.07
Hierro fundido	300	0.44
Hierro forjado	300-500	0.28
Aherrumbrado	300	0.61
Oxidado	500-900	0.64-0.78
Plomo		
Pulido	300-500	0.06-0.08
No oxidado, áspero	300	0.43
Oxidado	300	0.63
Magnesio pulido	300-500	0.07-0.13
Mercurio	300-400	0.09-0.12
Molibdeno		
Pulido	300-2 000	0.05-0.21
Oxidado	600-800	0.80-0.82
Níquel		
Pulido	500-1 200	0.07-0.17
Oxidado	450-1 000	0.37-0.57
Platino pulido	500-1 500	0.06-0.18
Plata pulida	300-1 000	0.02-0.07
Acero inoxidable		
Pulido	300-1 000	0.17-0.30
Ligeramente oxidado	600-1 000	0.30-0.40
Intensamente oxidado	600-1 000	0.70-0.80
Acero		
Lámina pulida	300-500	0.08-0.14
Lámina comercial	500-1 200	0.20-0.32
Intensamente oxidado	300	0.81
Estaño pulido	300	0.05
Tungsteno		
Pulido	300-2 500	0.03-0.29
Filamento	3500	0.39
Zinc		
Pulido	300-800	0.02-0.05
Oxidado	300	0.25

www.elsolucionario.org

Anexo 16. Propiedades del aire a presión de 1 atm

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, ρ, kg/m³	Calor específico, c_p, J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, α, m²/s²	Viscosidad dinámica, μ, kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν, m²/s	Número de Prandtl, Pr
−150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
−100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-6}	5.837×10^{-6}	0.7263
−50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
−40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
−30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
−20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
−10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478

Anexo 17. Propiedades del agua

TABLA A.1 Unidades del SI [101 kPa (abs)]

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m^3)	Densidad ρ (kg/m^3)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m^2/s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Anexo 18. Rugosidad de tuberías

TABLA 8.2 Rugosidad de la tubería —valores de diseño

Material	Rugosidad ε (m)	Rugosidad ε (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo estirado; cobre, latón, acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil —revestido	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil —sin revestir	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien hecho	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Anexo 19. Materiales de placa admisibles y tensiones admisibles

Table 5-2a—(SI) Permissible Plate Materials and Allowable Stresses

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness t mm	Minimum Yield Strength Mpa	Minimum Tensile Strength Mpa	Product Design Stress S_d Mpa	Hydrostatic Test Stress S_t Mpa	
ASTM Specifications							
A 283M	C		205	380	137	154	
A 285M	C		205	380	137	154	
A 131M	A, B		235	400	157	171	
A 36M	—		250	400	160	171	11
A 131M	EH 36		360	490[a]	196	210	
A 573M	400		220	400	147	165	
A 573M	450		240	450	160	180	
A 573M	485		290	485[a]	193	208	
A 516M	380		205	380	137	154	
A 516M	415		220	415	147	165	
A 516M	450		240	450	160	180	
A 516M	485		260	485	173	195	
A 662M	B		275	450	180	193	
A 662M	C		295	485[a]	194	208	
A 537M	1	$t \le 65$	345	485[a]	194	208	
		$65 < t \le 100$	310	450[b]	180	193	
A 537M	2	$t \le 65$	415	550[a]	220	236	
		$65 < t \le 100$	380	515[b]	206	221	
A 633M	C, D	$t \le 65$	345	485[a]	194	208	
		$65 < t \le 100$	315	450[b]	180	193	09
A 678M	A		345	485[a]	194	208	
A 678M	B		415	550[a]	220	236	
A 737M	B		345	485[a]	194	208	
A 841M	Class 1		345	485[a]	194	208	
CSA Specifications							
G40.21M	260W		260	410	164	176	
G40.21M	260 WT		260	410	164	176	
G40.21M	300W		300	450	180	193	11
G40.21M	300WT		300	450	180	193	
G40.21M	350W		350	450	180	193	
G40.21M	350WT	$t \le 65$	350	480[a]	192	206	
		$65 < t \le 100$	320	480[a]	192	206	
National Standards							
	235		235	365	137	154	
	250		250	400	157	171	
	275		275	430	167	184	
ISO Specifications							
ISO 630	E 355C, D	$t \le 16$	275	410	164	176	
		$16 < t \le 40$	265	410	164	176	
	E 355, D	$t \le 16$	355	490[a]	196	210	
		$16 < t \le 40$	345	490[a]	196	210	
		$40 < t \le 50$	335	490[a]	196	210	
EN Specifications							
EN 10025	S 355J0, J2	$t \le 16$	275	410	164	176	11
		$16 < t \le 1^1/_2$	265	410	164	176	
	S355J0, J2, K2	$t \le 16$	355	470[a]	188	201	
		$16 < t \le 40$	345	470[a]	188	201	
		$40 < t \le 50$	335	470[a]	188	201	

Anexo 20. Catálogo de perfiles "L"

Ángulos de alas iguales																				
Descripción	b	h	e	Masa	Área	d1	d2	Ángulo a	Eje X - X			Eje Y - Y			Eje U - U			Eje V - V		
									Ix	Wx	rx	Iy	Wy	ry	Iu	Wu	ru	Iv	Wv	rv
	mm	mm	mm	Kg/m	cm2	cm	cm	(°)	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm
L 20x 2	20	20	2	0,57	0,73	0,60	0,60	45,00	0,28	0,20	0,62	0,28	0,20	0,62	0,46	0,32	0,79	0,10	0,14	0,37
L 20 x 3	20	20	3	0,81	1,03	0,65	0,65	45,00	0,38	0,28	0,60	0,38	0,28	0,60	0,63	0,45	0,78	0,12	0,17	0,34
L 25x 2	25	25	2	0,73	0,93	0,72	0,72	45,00	0,56	0,32	0,78	0,56	0,32	0,78	0,92	0,52	1,00	0,20	0,23	0,47
L 25x 3	25	25	3	1,05	1,33	0,78	0,78	45,00	0,78	0,45	0,77	0,78	0,45	0,77	1,30	0,74	0,99	0,26	0,30	0,45
L 30 x 2	30	30	2	0,88	1,13	0,85	0,85	45,00	1,00	0,46	0,94	1,00	0,46	0,94	1,63	0,77	1,20	0,37	0,35	0,57
L 30x 3	30	30	3	1,28	1,63	0,90	0,90	45,00	1,40	0,67	0,93	1,40	0,67	0,93	2,32	1,09	1,19	0,49	0,46	0,55
L 30x 4	30	30	4	1,65	2,10	0,95	0,95	45,00	1,76	0,86	0,91	1,76	0,86	0,91	2,93	1,38	1,18	0,58	0,55	0,52
L 40x 2	40	40	2	1,20	1,33	1,10	1,10	45,00	2,44	0,84	1,26	2,44	0,84	1,26	3,96	1,40	1,61	0,92	0,65	0,78
L 40x 3	40	40	3	1,75	2,23	1,15	1,15	45,00	3,49	1,22	1,25	3,49	1,22	1,25	5,71	2,02	1,60	1,27	0,90	0,75
L 40x 4	40	40	4	2,28	2,90	1,20	1,20	45,00	4,44	1,59	1,24	4,44	1,59	1,24	7,23	2,59	1,59	1,55	1,10	0,73
L 40x 5	40	40	5	2,77	3,54	1,25	1,25	45,00	5,29	1,92	1,22	5,29	1,92	1,22	8,80	3,11	1,58	1,77	1,25	0,71
L 50x 2	50	50	2	1,51	1,93	1,35	1,35	45,00	4,85	1,33	1,59	4,85	1,33	1,59	7,85	2,22	2,02	1,85	1,05	0,98
L 50x 3	50	50	3	2,22	2,83	1,40	1,40	45,00	7,01	1,95	1,57	7,01	1,95	1,57	11,42	3,23	2,01	2,61	1,47	0,96
L 50x 4	50	50	4	2,90	3,70	1,45	1,45	45,00	9,01	2,54	1,56	9,01	2,54	1,56	14,76	4,18	2,00	3,25	1,84	0,94
L 50x 5	50	50	5	3,56	4,54	1,50	1,50	45,00	10,84	3,10	1,55	10,84	3,10	1,55	17,89	5,06	1,99	3,79	2,14	0,91
L 60x 3	60	60	3	2,69	3,43	1,65	1,65	45,00	12,34	2,84	1,90	12,34	2,84	1,90	20,03	4,72	2,42	4,65	2,19	1,16
L 60x 4	60	60	4	3,53	4,50	1,70	1,70	45,00	15,96	3,71	1,70	15,96	3,71	1,70	26,04	6,14	2,40	5,88	2,77	1,14
L 60x 5	60	60	5	4,34	5,54	1,75	1,75	45,00	19,33	4,55	1,87	19,33	4,55	1,87	31,72	7,48	2,39	6,95	3,27	1,12
L 75x 3	75	75	3	3,40	4,33	2,02	2,02	45,00	24,55	4,48	2,38	24,55	4,48	2,38	39,72	7,49	3,03	9,38	3,53	1,47
L 75x 4	75	75	4	4,47	5,70	2,07	2,07	45,00	31,94	5,88	2,37	31,94	5,88	2,37	51,90	9,79	3,02	11,99	4,51	1,45
L 75x 5	75	75	5	5,52	7,04	2,12	2,12	45,00	38,96	7,24	2,35	38,96	7,24	2,35	63,56	11,99	3,01	14,35	5,40	1,43
L 75x 6	75	75	6	6,53	8,33	2,17	2,17	45,00	45,60	8,56	2,34	45,60	8,56	2,34	74,73	14,09	2,99	16,46	6,20	1,41
L 80x 4	80	80	4	4,79	6,10	2,20	2,20	45,00	39,00	6,72	2,53	39,00	6,72	2,53	63,30	11,19	3,22	14,70	5,19	1,55
L 80x 5	80	80	5	5,91	7,54	2,25	2,25	45,00	47,65	8,28	2,51	47,65	8,28	2,51	77,64	13,72	3,21	17,65	6,23	1,53
L 80x 6	80	80	6	7,00	8,93	2,30	2,30	45,00	55,86	9,79	2,50	55,86	9,79	2,50	91,39	16,16	3,20	20,32	7,17	1,51
L 80x 8	80	80	8	9,11	11,61	2,40	2,40	45,00	71,03	12,68	2,47	71,03	12,68	2,47	117,22	20,72	3,18	24,85	8,78	1,46
L 80x 10	80	80	10	11,09	14,14	2,50	2,50	45,00	94,59	15,39	2,45	84,59	15,39	2,45	140,84	24,90	3,16	28,34	10,04	1,42
L100x 5	100	100	5	7,48	9,54	2,75	2,75	45,00	95,23	13,13	3,16	95,23	13,13	3,16	154,55	21,86	4,03	35,90	10,13	1,94

Anexo 21. Catálogo de tubos cuadrados

Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm2	I cm4	W cm3	i cm3
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

Anexo 22. Análisis de agua potable

DATOS DE LA MUESTRA

Nombre de la Muestra:	AGUA POTABLE	**Lote:**	X
		Fecha elaboración:	X
Tipo de muestra:	AGUA	**Fecha vencimiento:**	X
		Contenido declarado:	1 litro
Muestreado por:	CLIENTE	**Contenido encontrado:**	1 litro
Color:	CARACTERISTICO	**Fecha de recepción:**	2020-06-26
		Hora de recepción:	14:19:40
Olor:	CARACTERISTICO	**Fecha análisis:**	01 al 10 de Julio del 2020
Estado:	LIQUIDO	**Fecha entrega:**	13-07-2020

RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	METODO DE ANALISIS INTERNO	METODO DE ANALISIS DE REFERENCIA	INCERTIDUMBRE
*©SABOR	Aceptable	----	PA-FQ-175	SM 2170	---
*©pH.	7,37	-----	PA-FQ-268	SM 4500	----
*©OLOR	Aceptable	-----	PA-FQ-144	SM 2150	-----
*©COBRE	< 0,50	mg/l	PA-FQ-65	SM 3030 B, 3111 B	----
*©CROMO,	< 0,10	mg/l	PA-FQ-72	SM 3030 B, 3111 B	-----
*©TURBIDEZ	1,64	UFT	PA-FQ-196	SM 2130	---------
*©COLOR,	5,00	U Pt-Co	PA-FQ-67	SM 2120	----
*©NITRATOS	1,33	mg/l	PA-FQ-137	SM 4500-NO3 B	-----
*©NITRITOS,	< 0,039	mg/l	PA-FQ-139	SM 4500-NO2 B	-----
*©ARSENICO	<0,001	mg/l	PA-FQ-36	AOAC 986.15	----
*©CLORO RESIDUAL	< 0,20	mg/l	PA-FQ-59	SM 4500 Cl G	----
*©MERCURIO	0,064	mg/l	PA-FQ-130	AOAC 971.21	-----
*©CIANUROS	< 039	mg/l	PA-FQ-304	HCN 8037	----
*©BARIO,	< 0,50	mg/l	PA-FQ-340	SM 3030,3111D	----
*©CADMIO,	< 0,0005	mg/l	PA-FQ-339	SM 3030B, 3111B	----
*©PLOMO,	< 0,001	mg/l	PA-FQ-341	SM 3030,3111B	----
*©ALUMINIO	< 0,50	mg/l	PA-FQ-30	SM 3500-Al	-----

***©PERFIL DE TRIHALOMETANOS**

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	METODO ANALISIS
Cloroformo	2,30	µg/l	PA-FQ-175 / EPA 601 Modificado. MSD
Dibromoclorometano	0,52	µg/l	PA-FQ-175 / EPA 601 Modificado. MSD
Diclorobromometano	< 0,01	µg/l	PA-FQ-175 / EPA 601 Modificado. MSD
Bromoformo	< 0,01	µg/l	PA-FQ-175 / EPA 601 Modificado. MSD
Sumatoria de Trihalometanos	2,82	µg/l	PA-FQ-175 / EPA 601 Modificado. MSD

***©PERFIL DE VOC**

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	METODO ANALISIS

ALCANOS CLORADOS			
Tetracloruro de carbono	< 0,01	µg/l	PA-FQ-332/GC-MASAS
1,2 dicloroetano	< 0,01	µg/l	
1,1,1 tricloroetano	< 0,01	µg/l	
1,2-dicloropropano	< 0,01	µg/l	
1,2-Dibromo-3-cloropropano	< 0,01	µg/l	
1,2-dibromoetano	< 0,01	µg/l	
ETENOS CLORADOS			
Cloruro de Vinilo1,1 dicloroeteno	< 0,01	µg/l	PA-FQ-332/GC-MASAS
cis-1,2 dicloroeteno	< 0,01	µg/l	
1,1-dicloropropeno	< 0,01	µg/l	
1,3-dicloropropeno	< 0,01	µg/l	
Tricloroeteno	< 0,01	µg/l	
Tetracloroeteno	< 0,01	µg/l	
Hexaclorurobutadieno	< 0,01	µg/l	
HIDROCARBUROS AROMATICOS			
Benceno	< 0,01	µg/l	PA-FQ-332/GC-MASAS
Tolueno	< 0,01	µg/l	
m+p-Xileno	< 0,01	µg/l	
Xileno Total	< 0,01	µg/l	
Etilbenceno	< 0,01	µg/l	
Estireno	< 0,01	µg/l	
Clorobenceno	< 0,01	µg/l	
1,2-diclorobenceno	< 0,01	µg/l	
1,4-diclorobenceno	< 0,01	µg/l	
1,2,4-triclorobenceno	< 0,01	µg/l	
OTROS COMPUESTOS ORGANICOS			
Di(2-etilhexil)ftalato	< 0,01	µg/l	PA-FQ-332/GC-MASAS
1,4-Dioxano	< 0,01	µg/l	

***©PERFIL DE PESTICIDAS ORGANO CLORADOS**

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	METODO ANALISIS
α-HCH	< 0,004	µg/l	PA-FQ-333/ GC-MASAS
HCB	< 0,01	µg/l	
β-HCH	< 0,01	µg/l	
γ-HCH	< 0,01	µg/l	
δ-HCH	< 0,01	µg/l	
Heptaclor	< 0,01	µg/l	
Cis-Heptaclorepoxido	< 0,01	µg/l	
Trans-Heptaclorepoxido	< 0,01	µg/l	
Trans-Clordano	< 0,01	µg/l	
Cis-Clordano	< 0,01	µg/l	
pp-DDE	< 0,01	µg/l	
Dieldrin	< 0,01	µg/l	
Endrin	< 0,01	µg/l	
pp-DDD	< 0,01	µg/l	
op-DDT	< 0,01	µg/l	

Anexo 23. Hoja técnica del TQ SOFT ADL

TESQUIMSA
TECNOLOGIA DE SERVICIOS QUIMICOS C.A.
Profesionales al servicio de la Industria

TQ-SOFT-ADL

PRODUCTO PARA CALDEROS ALIMENTADOS CON AGUA DURA

DESCRIPCION:

TQ-SOFT-ADL es un producto para el tratamiento completo en la prevención de incrustación y corrosión en calderos de vapor alimentados con aguas duras y trabajando bajo presiones de hasta 300 psi. En su composición intervienen precipitantes de dureza, atrapadores de oxígeno, acondicionadores de lodos, inhibidores de corrosión y alcalinizantes reguladores de pH. Se trata, por tanto, de compuestos integrales que contienen todos los componentes requeridos para un tratamiento completo del agua del caldero.

El TQ-SOFT-ADL no contiene ningún tipo de sustancias volátiles que puedan contaminar el vapor, en cambio contribuyen al desprendimiento de incrustaciones antiguas.

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS:

Apariencia:	líquido
Color:	vino
pH (solución al 1%):	11,50 ± 0,50
Gravedad específica:	1,12 ± 0,03
Inflamabilidad:	no inflamable

MODO DE EMPLEO:

El TQ-SOFT-ADL se puede agregar directamente al tanque de alimentación en forma manual o a la línea de descarga de la bomba de alimentación si se usa una bomba dosificadora de químico.
En cualquier caso, el caudal de dosificación guardará relación con el agua de reposición al caldero, en forma tal que la dosis calculada para el día de trabajo se consuma uniformemente durante la jornada.

PRECAUCIONES:

TQ-SOFT-ADL no es especialmente peligroso de manejar ni de alta toxicidad. *Si accidentalmente* se ingiere, hay que tomar una fuerte dosis de jugo de limón o naranja y abundante agua. Si salpicara a los ojos, enjuagar por 10 minutos con abundante agua y acudir al médico.

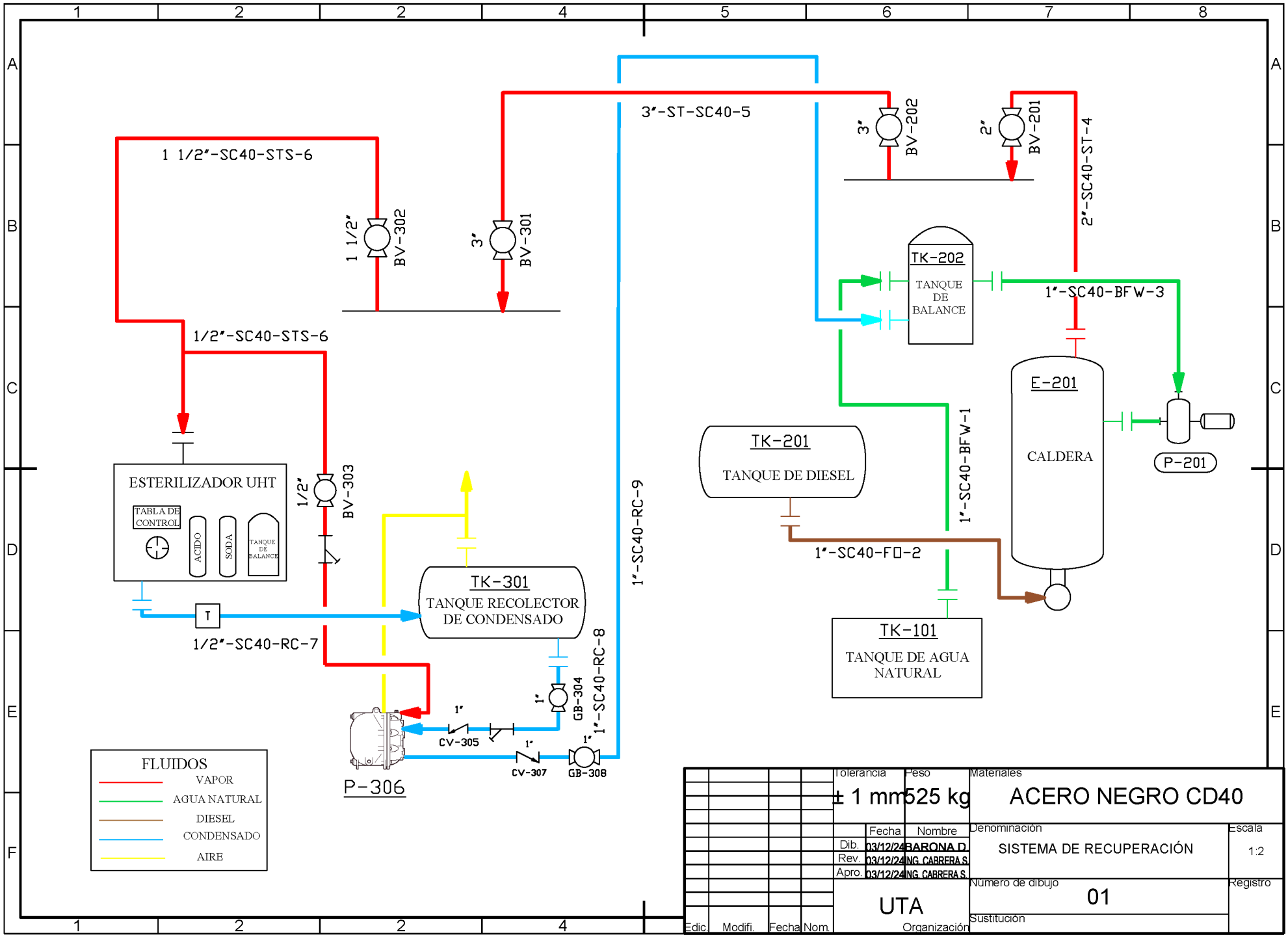
PRESENTACION:

El TQ-SOFT-ADL se expende en envases de 30, 60 y 220 kg

www.tesquimsa.com.ec

Bartolomé Sánchez N72-165 y Antonio Basantes (Panamericana Norte Km. 6½)
02 2800 387 | 2486 684 | 2485 226
(+593) 09 99461518 | Fax 02 2807 445
ventas@tesquimsa.com.ec
Tesquimsa c.a

PLANO DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CONDENSADOS


3"-ST-SC40-5
1 1/2"-SC40-STS-6
1 1/2"
BV-302
3"
BV-301
3"
BV-202
2"
BV-201
2"-SC40-ST-4
TK-202
TANQUE DE BALANCE
1"-SC40-BFW-3
E-201
CALDERA
P-201
1/2"-SC40-STS-6
ESTERILIZADOR UHT
TABLA DE CONTROL
ACIDO
SODA
TANQUE DE BALANCE
1/2"
BV-303
TK-201
TANQUE DE DIESEL
1"-SC40-BFW-1
1"-SC40-FO-2
T
1/2"-SC40-RC-7
TK-301
TANQUE RECOLECTOR DE CONDENSADO
1"-SC40-RC-9
1"-SC40-RC-8
1"
GB-304
1"
CV-305
1"
CV-307
1"
GB-308
P-306
TK-101
TANQUE DE AGUA NATURAL
FLUIDOS
VAPOR
AGUA NATURAL
DIESEL
CONDENSADO
AIRE
Tolerancia
± 1 mm
Peso
625 kg
Materiales
ACERO NEGRO CD40
Fecha
Nombre
Dib. 03/12/24 BARONA D.
Rev. 03/12/24 ING. CARRERA S.
Apro. 03/12/24 ING. CARRERA S.
Denominación
SISTEMA DE RECUPERACIÓN
Escala
1:2
UTA
Organización
Numero de dibujo
01
Registro
Sustitución
Edic.
Modifi.
Fecha
Nom.