



# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**



## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUDITORÍA ENERGÉTICA E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE  
MEJORAS BASADO EN LA NORMA ISO 50001 PARA EL SISTEMA DE  
TINTURACIÓN DE TELAS Y CALDEROS DE LA INDUSTRIA TEXTIL  
LATINOAMERICANA "INTELA"**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**ENRÍQUEZ LOZANO ELIO MAURICIO**

**elio.enriquez@epn.edu.ec**

**OTERO LASTRA FERNANDO DAVID**

**fernando.otero@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: ING. ZÚÑIGA HUGO MSC.**

**hugo.zuniga@epn.edu.ec**

**CODIRECTOR: ING. ORTEGA MIGUEL MSC.**

**miguel.ortega@epn.edu.ec**

**QUITO, Mayo de 2019**

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por ENRÍQUEZ LOZANO ELIO MAURICIO y OTERO LASTRA FERNANDO DAVID, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Zúñiga Hugo, MSc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. Ortega Miguel, MSc.

**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Nosotros, ENRÍQUEZ LOZANO ELIO MAURICIO y OTERO LASTRA FERNANDO DAVID, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Enríquez Lozano Elio Mauricio

---

Otero Lastra Fernando David

## DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado con mucho cariño a mi familia quienes son el mayor tesoro que tengo en mi vida. A mis tíos Geovanny, Luis, Jacqueline y Ever por su apoyo incondicional, a mi querida abuelita Amelia por ser ese puntal de ternura e inocencia, a Vanesita que es la hermanita menor que tengo en mi corazón, a mis hermanos Maribel e Israel quienes son el ejemplo de vida que tengo y quienes son parte fundamental de mis logros y mis triunfos que sin ellos mi vida no sería igual, a mis cuñados Andrés y Carito por permitirme tener la dicha de ser tío de cuatro niñas hermosas y maravillosas Noreliz, Belén, Alejandra y Noreliz. Y sobre todo dedico este trabajo a los ángeles que Dios puso en mi vida para guiarme, cuidarme, aconsejarme y sobre todo acompañarme en todas las circunstancias de la vida, Mi padre Sergio y mi madre Yadira quienes con su ejemplo me han enseñado los valores primordiales para ser un hombre de bien, gracias padre por mostrarme la constancia y fortaleza de seguir adelante a pesar de las adversidades, gracias madre por enseñarme a ser un guerrero de Dios eres el ser que más amo en la vida y por la que quiero seguir adelante cumpliendo todos mis objetivos.

Elio Enríquez

El presente trabajo es dedicado a todas las personas que siempre me han apoyado y han estado para mí en los momentos más importantes y cruciales de mi vida. En primer lugar, a mi padre Fernando y mi madre Sonia, quienes no son solo un ejemplo para seguir sino, mi mayor inspiración día tras día, porque ellos me enseñaron el valor de la vida y el trabajo, y como se debe ganarlo con acciones. Así también, a mis hermanas, Gabriela y Sarita, y mi tía Nancy, quienes nunca han dejado de apoyarme y que han visto en mi promesas y cualidades de un gran ingeniero y persona. De igual manera a mi enamorada Arianna Barros, quien día a día me dio su aliento y aquellas palabras para no dejarme derrotar por las adversidades que pueden presentarse durante el desarrollo de cada proyecto. Finalmente, este proyecto lo dedico a mi abuelita Carlota que me enseñó no solo a ser un hombre sino un caballero.

Fernando Otero



## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios y a la Virgen María por darme todos estos años de vida lleno de cosas buenas y malas que ayudaron a ser de mí una persona de bien día con día. También agradezco a la EPN y a la facultad de Ingeniería Mecánica por todo este tiempo en donde adquirí varios conocimientos y también experiencias de vida donde pude conocer a gente muy buena. Agradezco al Ing. Hugo Zúñiga y al Ing. Miguel Ortega quienes con sus conocimientos fueron un apoyo para realizar este proyecto de la mejor manera, también agradezco a todos aquellos buenos amigos que de una u otra manera ayudaron a que esta etapa de mi vida fuera llevada con la mejor compañía llena de gratos momentos. Agradezco también al Ing. Hermes Villalba, Jefe de planta de la empresa Intela, por la apertura necesaria y amable de todas las instalaciones para la realización de este proyecto. Finalmente agradezco a mi compañero de tesis, Fernando Otero, debido a que de no tener su apoyo no hubiera sido posible culminar esta etapa de mi vida, gracias mi hermano.

Elio Enríquez

Agradezco en mi primer lugar a la Virgen Dolorosa, quien ha sido mi guía durante todos los años. A la Escuela Politécnica Nacional y la Facultad de Ingeniería Mecánica por darme la oportunidad de crecer como persona para poder desarrollarme como profesional. Agradezco al Ing. Hugo Zúñiga, y Ing. Miguel Ortega, quienes fueron los guías para poder realizar este proyecto. Así como también a todos mis profesores que compartieron sus enseñanzas y conocimientos. También agradezco a mis amigos del colegio y la universidad, y en especial a mi amiga Carolina Gallegos, quienes me ayudaron durante todo mi trayecto a través de la universidad. Finalmente agradezco a mi compañero de tesis Elio Enríquez, que sin su ayuda no hubiera sido posible culminar este proyecto.

Fernando Otero

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|                                                |      |
|------------------------------------------------|------|
| CERTIFICACIÓN .....                            | i    |
| DECLARACIÓN .....                              | ii   |
| DEDICATORIA.....                               | iii  |
| AGRADECIMIENTO.....                            | iv   |
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....                      | v    |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                        | xi   |
| ÍNDICE DE TABLAS .....                         | xiv  |
| RESUMEN. ....                                  | xvi  |
| ABSTRACT .....                                 | xvii |
| INTRODUCCIÓN .....                             | 1    |
| IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....              | 2    |
| Objetivo general .....                         | 3    |
| Objetivos específicos.....                     | 3    |
| 1. MARCO TEÓRICO.....                          | 4    |
| 1.1. Generalidades de la empresa .....         | 4    |
| 1.1.1. Descripción general de la empresa ..... | 4    |
| 1.1.2. Reseña histórica .....                  | 4    |
| 1.1.3. Visión .....                            | 4    |
| 1.1.4. Misión .....                            | 5    |
| 1.1.5. Localización .....                      | 5    |
| 1.1.6. Descripción del proceso productivo..... | 5    |
| 1.1.6.1. Área de tejeduría.....                | 6    |
| 1.1.6.2. Área de tintura.....                  | 7    |
| 1.1.6.3. Área de secado.....                   | 7    |
| 1.1.6.4. Área de perchado.....                 | 8    |
| 1.1.6.5. Área de planchado. ....               | 8    |
| 1.1.7. Energía disponible de la empresa. ....  | 9    |

|          |                                                               |    |
|----------|---------------------------------------------------------------|----|
| 1.1.7.1. | Matriz energética de la empresa. ....                         | 9  |
| 1.1.7.2. | Consumo de energía de la empresa. ....                        | 10 |
| 1.2.     | Sistema de generación de vapor. ....                          | 12 |
| 1.2.1.   | Calderas. ....                                                | 12 |
| 1.2.1.1. | Componentes de una caldera. ....                              | 12 |
| 1.2.1.2. | Clasificación de calderas. ....                               | 13 |
| 1.2.1.3. | Tipos de calderas. ....                                       | 14 |
| 1.2.2.   | Distribuidores de vapor. ....                                 | 15 |
| 1.2.3.   | Líneas de distribución de vapor y retorno de condensado. .... | 16 |
| 1.2.4.   | Tanques de condensado. ....                                   | 16 |
| 1.2.5.   | Trampas de vapor. ....                                        | 16 |
| 1.2.5.1. | Trampas de vapor termostáticas. ....                          | 17 |
| 1.2.5.2. | Trampas de vapor mecánicas. ....                              | 18 |
| 1.2.5.3. | Trampas de vapor termodinámicas. ....                         | 19 |
| 1.2.5.4. | Trampas de vapor de orificio. ....                            | 20 |
| 1.2.5.5. | Inspección de trampas de vapor. ....                          | 20 |
| 1.3.     | Sistema de tinturación. ....                                  | 21 |
| 1.3.1.   | Máquinas de tinturación. ....                                 | 21 |
| 1.3.1.1. | Componentes de una máquina de tinturación. ....               | 21 |
| 1.3.1.2. | Clasificación de máquinas de tinturación. ....                | 22 |
| 1.3.1.3. | Tipos de máquinas de tinturación. ....                        | 22 |
| 1.3.2.   | Intercambiadores de calor. ....                               | 25 |
| 1.3.3.   | Reguladores de presión. ....                                  | 25 |
| 1.4.     | Auditoría energética. ....                                    | 27 |
| 1.4.1.   | Tipos de auditorías energéticas. ....                         | 27 |
| 1.4.1.1. | Auditoría energética preliminar. ....                         | 28 |
| 1.4.1.2. | Auditoría energética detallada. ....                          | 28 |
| 1.4.2.   | Pasos para la realización de una auditoría energética. ....   | 28 |

|          |                                                                            |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.4.3.   | Norma ISO 50001:2018 .....                                                 | 29 |
| 2.       | METODOLOGÍA .....                                                          | 30 |
| 2.1.     | Metodología para auditoría energética preliminar.....                      | 30 |
| 2.1.1.   | Auditoría energética preliminar del sistema de generación de vapor.....    | 30 |
| 2.1.1.1. | Descripción del funcionamiento del sistema de generación de vapor.....     | 30 |
| 2.1.1.2. | Equipos que intervienen en el sistema de generación de vapor .....         | 31 |
| 2.1.1.3. | Calderas de vapor de la empresa Intela.....                                | 31 |
| 2.1.1.4. | Distribuidores de vapor .....                                              | 36 |
| 2.1.1.5. | Tanques de condensado.....                                                 | 37 |
| 2.1.1.6. | Equipos de consumo de vapor.....                                           | 38 |
| 2.1.1.7. | Esquema global del sistema de generación de vapor.....                     | 41 |
| 2.1.2.   | Auditoría energética preliminar del sistema de tinturación.....            | 43 |
| 2.1.2.1. | Descripción general del proceso de tinturación.....                        | 43 |
| 2.1.2.2. | Máquinas que conforman el área de tinturación de la empresa.....           | 43 |
| 2.1.2.3. | Equipos que componen las máquinas de tinturación.....                      | 47 |
| 2.1.2.4. | Tanque de mezclado.....                                                    | 47 |
| 2.1.2.5. | Intercambiadores de calor.....                                             | 49 |
| 2.1.2.6. | Cuerpo o tanque de tinturación.....                                        | 54 |
| 2.1.2.7. | Tanque de filtro.....                                                      | 55 |
| 2.1.2.8. | Inspección de trampas de vapor en la empresa.....                          | 56 |
| 2.2.     | Metodología para auditoría energética detallada.....                       | 56 |
| 2.2.1.   | Determinación de pérdidas de calor en las superficies de los sistemas..... | 57 |
| 2.2.1.1. | Geometría de los componentes .....                                         | 57 |
| 2.2.1.2. | Medición de temperatura superficial y ambiental.....                       | 58 |
| 2.2.1.3. | Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación .....      | 59 |
| 2.2.1.4. | Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección.....      | 60 |
| 2.2.1.5. | Cálculo del Flujo de calor .....                                           | 61 |
| 2.2.2.   | Cálculo de pérdidas de calor por fugas de vapor.....                       | 61 |

|          |                                                                            |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.3.   | Determinación de la eficiencia térmica de las calderas .....               | 62 |
| 2.2.3.1. | Eficiencia de las calderas por método directo .....                        | 62 |
| 2.2.3.2. | Eficiencia de las calderas por método indirecto.....                       | 67 |
| 2.2.4.   | Estimación de la efectividad de los intercambiadores de calor .....        | 74 |
| 2.2.4.1. | Proceso termodinámico del vapor en el intercambiador de calor.....         | 75 |
| 2.2.4.2. | Cálculo de capacidad calorífica mínima .....                               | 76 |
| 2.2.4.3. | Medición del caudal de mezcla .....                                        | 77 |
| 2.2.4.4. | Medición de la temperatura de entrada de la mezcla .....                   | 77 |
| 2.2.4.5. | Medición de la temperatura de salida de la mezcla .....                    | 78 |
| 2.2.4.6. | Cálculo de la temperatura de entrada de vapor a los intercambiadores ..... | 78 |
| 2.2.5.   | Determinación de costos energéticos de los sistemas .....                  | 85 |
| 2.2.5.1. | Cálculo del costo de generación de vapor.....                              | 85 |
| 2.2.5.2. | Determinación del costo de pérdidas de energía.....                        | 86 |
| 2.2.5.3. | Análisis financiero de propuestas de mejora .....                          | 87 |
| 3.       | RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                                | 89 |
| 3.1.     | Resultados de auditoría energética preliminar.....                         | 89 |
| 3.1.1.   | Observaciones de auditoría preliminar: sistema de generación de vapor..... | 89 |
| 3.1.2.   | Observaciones de auditoría preliminar: sistema de tinturación.....         | 90 |
| 3.2.     | Resultados de auditoría energética detallada.....                          | 90 |
| 3.2.1.   | Pérdidas de calor en la superficie de los sistemas .....                   | 90 |
| 3.2.1.1. | Pérdidas de calor en la superficie de las calderas.....                    | 91 |
| 3.2.1.2. | Pérdidas de calor en distribuidores de vapor.....                          | 91 |
| 3.2.1.3. | Pérdidas de calor en tanques de condensado.....                            | 92 |
| 3.2.1.4. | Pérdidas de calor en intercambiadores de calor.....                        | 92 |
| 3.2.1.5. | Pérdidas de calor en líneas de distribución de vapor.....                  | 92 |
| 3.2.1.6. | Pérdidas de calor en líneas de retorno de condensado.....                  | 94 |
| 3.2.2.   | Pérdidas de calor por fugas de vapor.....                                  | 96 |
| 3.2.3.   | Eficiencia térmica de las calderas .....                                   | 96 |

|          |                                                                                                                             |     |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2.3.1. | Eficiencia de las calderas método directo.....                                                                              | 96  |
| 3.2.3.2. | Eficiencia de las calderas método indirecto.....                                                                            | 98  |
| 3.2.4.   | Efectividad de los intercambiadores de calor .....                                                                          | 99  |
| 3.2.4.1. | Calor transferido en el intercambiador.....                                                                                 | 100 |
| 3.2.4.2. | Temperatura de entrada del vapor a los intercambiadores de calor .....                                                      | 100 |
| 3.2.4.3. | Efectividad de los intercambiadores de calor .....                                                                          | 100 |
| 3.2.5.   | Análisis de los resultados obtenidos en la auditoría energética detallada...                                                | 101 |
| 3.3.     | Costos.....                                                                                                                 | 103 |
| 3.3.1.   | Costos energéticos .....                                                                                                    | 103 |
| 3.3.1.1. | Costo de la generación de vapor.....                                                                                        | 103 |
| 3.3.1.2. | Costo de pérdidas de energía al año.....                                                                                    | 103 |
| 3.4.     | Propuestas de mejora .....                                                                                                  | 104 |
| 3.4.1.   | Propuestas de mejora a implementarse .....                                                                                  | 104 |
| 3.4.2.   | Ahorro producido por las propuestas de mejora .....                                                                         | 104 |
| 3.4.2.1. | Factor de ahorro.....                                                                                                       | 104 |
| 3.4.2.2. | Ahorro por las propuestas de mejora .....                                                                                   | 105 |
| 3.4.3.   | Inversión para implementar propuestas de mejora.....                                                                        | 106 |
| 3.4.4.   | Análisis financiero de las propuestas de mejora.....                                                                        | 107 |
| 3.4.5.   | Otras propuestas de mejora .....                                                                                            | 108 |
| 3.4.5.1. | Reemplazo de caldera por caldera de alta eficiencia.....                                                                    | 109 |
| 3.5.     | Manual de implementación de mejoras para el sistema de tinturación y calderas de Intelta basado en la norma ISO 50001 ..... | 110 |
| 4.       | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                                                                                         | 111 |
| 4.1.     | Conclusiones.....                                                                                                           | 111 |
| 4.2.     | Recomendaciones .....                                                                                                       | 112 |
|          | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                            | 114 |
|          | ANEXOS 117                                                                                                                  |     |
|          | Anexo 1: Distribución de áreas de la empresa.....                                                                           | 117 |
|          | Anexo 2: Datos de consumo de componentes de matriz energética de la empresa. ....                                           | 118 |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Anexo 3: Diagramas unifilares.....                                                   | 120 |
| Anexo 4: Comprobación flujo másico de agua.....                                      | 122 |
| Anexo 5: Validación factor de potencia.....                                          | 127 |
| Anexo 6: Análisis de gases.....                                                      | 128 |
| Anexo 7: Demostración factor de corrección para pérdidas de calor en chimeneas. .... | 137 |
| Anexo 8: Ejemplo de cálculo y valores experimentales. ....                           | 139 |
| Anexo 9. Cotización aislante térmico.....                                            | 178 |
| Anexo 10. Inversión aislante térmico.....                                            | 180 |
| Anexo 11. Indicadores financieros.....                                               | 183 |
| Anexo 12. Flujo de efectivo. ....                                                    | 184 |
| Anexo 13. Cotización caldera de alta eficiencia.....                                 | 185 |
| Anexo 14. Flujo de efectivo propuesta cambio de caldera de alta eficiencia.....      | 186 |
| Anexo 15. Manual de implementación de mejoras .....                                  | 187 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.1.</b> Mapa de la ubicación de Intela en la ciudad de Quito. ....                             | 5  |
| <b>Figura 1.2.</b> Flujo de producción de textiles en la empresa Intela.....                              | 6  |
| <b>Figura 1.3.</b> Sistemas de tejido industrial del área de tejeduría. ....                              | 7  |
| <b>Figura 1.4.</b> Área de tinturación de la empresa. ....                                                | 7  |
| <b>Figura 1.5.</b> Máquina de secado. ....                                                                | 8  |
| <b>Figura 1.6.</b> Máquina de perchado. ....                                                              | 8  |
| <b>Figura 1.7.</b> Máquina de planchado.....                                                              | 9  |
| <b>Figura 1.8.</b> Historial de consumo de eléctrico. ....                                                | 10 |
| <b>Figura 1.9.</b> Historial de consumo de bunker.....                                                    | 11 |
| <b>Figura 1.10.</b> Historial de consumo de GLP. ....                                                     | 11 |
| <b>Figura 1.11.</b> Historial de consumo de diésel. ....                                                  | 11 |
| <b>Figura 1.12.</b> Historial de consumo de agua potable. ....                                            | 12 |
| <b>Figura 1.13.</b> Esquema de una caldera con sus componentes principales. ....                          | 13 |
| <b>Figura 1.14.</b> Cuerpo caldera pirotubular.....                                                       | 14 |
| <b>Figura 1.15.</b> Cuerpo de caldera acuotubular.....                                                    | 15 |
| <b>Figura 1.16.</b> Equipo de distribución de vapor.....                                                  | 15 |
| <b>Figura 1.17.</b> Tanque de condensado. ....                                                            | 16 |
| <b>Figura 1.18.</b> Funcionamiento trampa de vapor termostática. ....                                     | 18 |
| <b>Figura 1.19.</b> Funcionamiento trampa de vapor mecánica con flotador y termostática. ...              | 18 |
| <b>Figura 1.20.</b> Funcionamiento trampa de vapor mecánica de cubierta invertida.....                    | 19 |
| <b>Figura 1.21.</b> Partes y funcionamiento trampa de vapor termodinámica de disco.....                   | 19 |
| <b>Figura 1.22.</b> Funcionamiento de trampa de vapor de orificio (azul-condensado; rojo-vapor).<br>..... | 20 |
| <b>Figura 1.23.</b> Máquina de tinturación.....                                                           | 21 |
| <b>Figura 1.24.</b> Máquina de tinturación MCS Italy, modelo multiflow. ....                              | 23 |
| <b>Figura 1.25.</b> Sistema de tinturación de flujo de aire. ....                                         | 24 |
| <b>Figura 1.26.</b> Sistema de tinturación FALLFLOW Compact de la empresa Loris Bellini, Italia.<br>..... | 24 |
| <b>Figura 1.27.</b> Intercambiador de calor de tubos y coraza con sus partes principales.....             | 25 |
| <b>Figura 1.28.</b> Distribución de presiones en regulador de presión. ....                               | 26 |
| <b>Figura 1.29.</b> Válvula reguladora de presión de acción directa.....                                  | 26 |
| <b>Figura 1.30.</b> Válvula reductora de presión pilotada. ....                                           | 27 |
| <b>Figura 2.1.</b> Funcionamiento sistema de generación de vapor.....                                     | 30 |
| <b>Figura 2.2.</b> Fotografía de la caldera N°1 .....                                                     | 33 |



|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 2.3.</b> Fotografía de la caldera N°2 .....                                                                | 33 |
| <b>Figura 2.4.</b> Fotografía de la caldera N°3 .....                                                                | 34 |
| <b>Figura 2.5.</b> Suministro de GLP.....                                                                            | 34 |
| <b>Figura 2.6.</b> Suministro de bunker.....                                                                         | 35 |
| <b>Figura 2.7.</b> Suministro de agua.....                                                                           | 36 |
| <b>Figura 2.8.</b> Distribuidor de vapor 1 (izquierda), y 2 (derecha) .....                                          | 36 |
| <b>Figura 2.9.</b> Interconexiones entre líneas de distribución.....                                                 | 37 |
| <b>Figura 2.10.</b> Tanque de condensado 1 (izquierda), 2(derecha).....                                              | 38 |
| <b>Figura 2.11.</b> Máquina secadora de cuellos .....                                                                | 40 |
| <b>Figura 2.12.</b> Esquema global del sistema de distribución de vapor.....                                         | 42 |
| <b>Figura 2.13.</b> Proceso de tinturación.....                                                                      | 43 |
| <b>Figura 2.14.</b> Máquina de tinturación N° 1 BRAZZOLI.....                                                        | 46 |
| <b>Figura 2.15.</b> Máquina de tinturación N° 2 AKM.....                                                             | 46 |
| <b>Figura 2.16.</b> Máquina de tinturación N° 4 THIES.....                                                           | 46 |
| <b>Figura 2.17.</b> Máquina de tinturación N° 8. THEN.....                                                           | 47 |
| <b>Figura 2.18.</b> Bomba de recirculación de la mezcla en el tanque de mezclado. (Izquierda THIES derecha AKM)..... | 48 |
| <b>Figura 2.19.</b> Tanque de mezclado de una máquina de tinturación.....                                            | 48 |
| <b>Figura 2.20.</b> Suministro de agua caliente. A: Cisterna, B: Bomba, C: Líneas de recolección.....                | 49 |
| <b>Figura 2.21.</b> Bomba centrífuga de inyección de tintura al intercambiador (AKM).....                            | 50 |
| <b>Figura 2.22.</b> Esquema de entrada de vapor al intercambiador de calor.....                                      | 51 |
| <b>Figura 2.23.</b> Regulador de presión Burkert.....                                                                | 52 |
| <b>Figura 2.24.</b> Regulador de presión Slelldruck.....                                                             | 52 |
| <b>Figura 2.25.</b> Trampas de vapor: a) Trampa de vapor tipo flotador, b) Trampa de vapor tipo balde invertido..... | 53 |
| <b>Figura 2.26.</b> Filtro de vapor.....                                                                             | 54 |
| <b>Figura 2.27.</b> Cuerpo de tinturación de máquina THIES.....                                                      | 54 |
| <b>Figura 2.28.</b> Cuerpo de tinturación de máquina AKM.....                                                        | 55 |
| <b>Figura 2.29.</b> Filtro máquina AKM.....                                                                          | 55 |
| <b>Figura 2.30.</b> Tipo de vapor en trampas: a) Trampa operando con normalidad, b) Trampa defectuosa.....           | 56 |
| <b>Figura 2.31.</b> Dimensiones medidas en cada componente.....                                                      | 58 |
| <b>Figura 2.32.</b> Secciones de calderas. (A, D: Chimenea; B: Intercambiador; C, E: Quemador).....                  | 58 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 2.33.</b> Secciones distribuidores y tanques de condensado (A: Cuerpo; B Tapa posterior; C: Tapa frontal)..... | 59  |
| <b>Figura 2.34.</b> Comparación de tiempos de operación de bombas. ....                                                  | 66  |
| <b>Figura 2.35.</b> Proceso termodinámico del vapor dentro del intercambiador de calor. ....                             | 75  |
| <b>Figura 2.36.</b> Comportamiento de temperaturas a la entrada y salida del intercambiador de calor .....               | 76  |
| <b>Figura 2.37.</b> Caudalímetros máquinas de tinturación AKM (izquierda), Thies (derecha).77                            |     |
| <b>Figura 2.38.</b> Panel de control sistema de tinturación AKM2. ....                                                   | 78  |
| <b>Figura 2.39.</b> Diagrama de resistencias térmicas desde el interior hasta el exterior de la tubería.....             | 80  |
| <b>Figura 2.40.</b> Diagrama de flujo para la obtención de $Th_i$ y $\eta_{hx}$ . ....                                   | 84  |
| <b>Figura 3.1.</b> Porcentajes de pérdidas de calor superficial.....                                                     | 101 |
| <b>Figura 3.2.</b> Comparación de eficiencias de calderas.....                                                           | 102 |
| <b>Figura 3.3.</b> Efectividad de intercambiadores de calor.....                                                         | 102 |
| <b>Figura 3.4.</b> Presentación del aislante térmico .....                                                               | 106 |
| <b>Figura 3.5.</b> Flujo de efectivo.....                                                                                | 108 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.1.</b> Componentes de la matriz energética de la empresa.....                                       | 9  |
| <b>Tabla 1.2.</b> Aplicaciones de la energía en la empresa.....                                                | 10 |
| <b>Tabla 2.1.</b> Datos de placa de caldera N°1.....                                                           | 31 |
| <b>Tabla 2.2.</b> Continuación Tabla 2.1.....                                                                  | 32 |
| <b>Tabla 2.3.</b> Datos de placa de caldera N°2.....                                                           | 32 |
| <b>Tabla 2.4.</b> Datos de placa de caldera N°3.....                                                           | 32 |
| <b>Tabla 2.5.</b> Continuación Tabla 2.4.....                                                                  | 33 |
| <b>Tabla 2.6.</b> Distribuidores de vapor.....                                                                 | 36 |
| <b>Tabla 2.7.</b> Líneas de distribución de vapor.....                                                         | 37 |
| <b>Tabla 2.8.</b> Tanques de condensado.....                                                                   | 37 |
| <b>Tabla 2.9.</b> Datos de placa de los radiadores de las secadoras tipo pared vertical.....                   | 39 |
| <b>Tabla 2.10.</b> Datos de placa de máquina secadora centrífuga.....                                          | 39 |
| <b>Tabla 2.11.</b> Continuación Tabla 2.10.....                                                                | 40 |
| <b>Tabla 2.12.</b> Datos de placa de máquinas de planchado.....                                                | 40 |
| <b>Tabla 2.13.</b> Datos operación máquina N°1.....                                                            | 44 |
| <b>Tabla 2.14.</b> Datos de operación de las máquinas N° 2 y N° 3.....                                         | 44 |
| <b>Tabla 2.15.</b> Datos de operación de las máquinas N° 4, N° 5 y N° 6.....                                   | 44 |
| <b>Tabla 2.16.</b> Continuación Tabla 2.15.....                                                                | 45 |
| <b>Tabla 2.17.</b> Datos de operación máquina N° 7.....                                                        | 45 |
| <b>Tabla 2.18.</b> Datos de operación máquina N° 8.....                                                        | 45 |
| <b>Tabla 2.19.</b> Datos geométricos de intercambiadores de calor.....                                         | 50 |
| <b>Tabla 2.20.</b> Especificaciones regulador de presión Burkert.....                                          | 51 |
| <b>Tabla 2.21.</b> Especificaciones regulador de presión Slelldruck.....                                       | 51 |
| <b>Tabla 2.22.</b> Especificaciones de trampas de vapor de cada intercambiador de calor.....                   | 53 |
| <b>Tabla 2.23.</b> Inspección visual de trampas de vapor.....                                                  | 56 |
| <b>Tabla 2.24.</b> Potencia de las calderas.....                                                               | 68 |
| <b>Tabla 3.1.</b> Porcentaje de aislamiento entre líneas de distribución de vapor y retorno de condensado..... | 90 |
| <b>Tabla 3.2.</b> Pérdidas de calor en las calderas.....                                                       | 91 |
| <b>Tabla 3.3.</b> Pérdidas de calor en los distribuidores de vapor.....                                        | 91 |
| <b>Tabla 3.4.</b> Pérdidas de calor los tanques de condensado.....                                             | 92 |
| <b>Tabla 3.5.</b> Pérdidas de calor en los intercambiadores de calor.....                                      | 92 |
| <b>Tabla 3.6.</b> Dimensiones geométricas de líneas de distribución.....                                       | 93 |
| <b>Tabla 3.7.</b> Pérdidas de calor en las líneas de distribución.....                                         | 94 |

|                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tabla 3.8.</b> Pérdidas de calor en las líneas de retorno de condensado. ....                      | 94  |
| <b>Tabla 3.9.</b> Continuación Tabla 3.8.....                                                         | 95  |
| <b>Tabla 3.10.</b> Pérdidas de calor por fugas de vapor.....                                          | 96  |
| <b>Tabla 3.11.</b> Flujo másico de combustible en las calderas.....                                   | 96  |
| <b>Tabla 3.12.</b> Datos de placa de bombas centrífugas en cada caldera. ....                         | 97  |
| <b>Tabla 3.13.</b> Flujo másico de agua de alimentación.....                                          | 97  |
| <b>Tabla 3.14.</b> Entalpía del vapor de salida en función de la presión absoluta.....                | 97  |
| <b>Tabla 3.15.</b> Entalpía del agua de alimentación en función de su temperatura.....                | 97  |
| <b>Tabla 3.16.</b> Factor de corrección de tiempo. ....                                               | 97  |
| <b>Tabla 3.17.</b> Eficiencia de las calderas método directo.....                                     | 98  |
| <b>Tabla 3.18.</b> Pérdidas de calor sensible. ....                                                   | 98  |
| <b>Tabla 3.19.</b> Pérdidas de calor por combustión incompleta. ....                                  | 98  |
| <b>Tabla 3.20.</b> Pérdidas de calor por convección y radiación.....                                  | 99  |
| <b>Tabla 3.21.</b> Pérdidas de calor por purgas.....                                                  | 99  |
| <b>Tabla 3.22.</b> Eficiencia de las calderas método indirecto. ....                                  | 99  |
| <b>Tabla 3.23.</b> Calor transferido en el intercambiador.....                                        | 100 |
| <b>Tabla 3.24.</b> Temperatura de entrada del vapor. ....                                             | 100 |
| <b>Tabla 3.25.</b> Efectividad de los intercambiadores de calor.....                                  | 100 |
| <b>Tabla 3.26.</b> Continuación Tabla 3.25.....                                                       | 101 |
| <b>Tabla 3.27.</b> Precio de la generación de vapor. ....                                             | 103 |
| <b>Tabla 3.28.</b> Costo de pérdidas de energía al año.....                                           | 103 |
| <b>Tabla 3.29.</b> Factor de ahorro para aislante térmico.....                                        | 105 |
| <b>Tabla 3.30.</b> Ahorro anual dado por propuestas de mejora.....                                    | 105 |
| <b>Tabla 3.31.</b> Continuación Tabla 3.30.....                                                       | 106 |
| <b>Tabla 3.32.</b> Precio de compra de aislante térmico.....                                          | 107 |
| <b>Tabla 3.33.</b> Inversión de propuestas de mejora.....                                             | 107 |
| <b>Tabla 3.34.</b> Indicadores financieros de propuestas de mejora.....                               | 108 |
| <b>Tabla 3.35.</b> Resultados propuesta de mejora (pm) cambio de caldera de alta eficiencia.<br>..... | 110 |
| <b>Tabla 3.36.</b> Indicadores financieros, cambio de caldera de alta eficiencia.....                 | 110 |

## RESUMEN

En el presente estudio técnico se realizó una auditoría energética al sistema de tinturación y calderas de la empresa Intela. Además, el proyecto se enfocó en auditar los elementos que consumen energía térmica y no de origen eléctrica, por tal motivo ciertos componentes de los sistemas no fueron evaluados.

El análisis energético para el sistema de tinturación fue realizado en los ocho intercambiadores de calor de las máquinas tinturadoras, porque los intercambiadores consumen más energía para llevar a cabo el proceso de tinturado. El análisis para el sistema de generación de vapor fue realizado a las calderas, los distribuidores, las líneas de distribución, los tanques de condensado y las líneas de retorno que permiten la generación, distribución y retorno de vapor en sus diferentes estados.

La auditoría energética fue realizada en dos etapas: preliminar y detallada. En la auditoría preliminar se recolectó información correspondiente a parámetros de funcionamiento, operación y descripción general de cada componente de los sistemas. Donde se identificó que las pérdidas de energía se deben al mal aislamiento térmico que poseen las instalaciones de la empresa. En la auditoría detallada se realizó un análisis termodinámico y de transferencia de calor para determinar eficiencias y flujos de energía. Se determinó que la eficiencia promedio de las tres calderas es 82%, se obtuvo por dos métodos. La efectividad promedio de los intercambiadores es 80%, y el porcentaje de zonas sin aislamiento, es del 72%. Por lo que el costo asociado a las pérdidas de energía representa USD. 28000 al año.

Basado en la norma ISO 50001, se planteó que mediante la implementación de aislante térmico en elementos sin aislante, se genera un ahorro de aproximadamente USD. 26000 al año, a través de una inversión de alrededor de USD. 3200 que se recuperará en 2 meses.

**Palabras clave:** Auditoría energética, calderas, intercambiadores de calor, eficiencia.

## ABSTRACT

The present technical research consists in an energy audit to the dyeing and steam systems of the company Intela. Moreover, the project is focused on auditing only energy based on fossil fuels and not electricity, for this reason certain components of the systems were not audited.

The energy analysis for the dyeing system was made for the eight machines, and specifically to its heat exchangers because those are the main part where the energy is consumed. The analysis for the steam system was made for the boilers, the distributors, the distribution lines, the condensate tanks and the return lines of condensate that allow the generation, distribution and return of steam and liquid.

The energy auditing was made in two stages: first the preliminary and after the detailed. In the preliminary audit, the information corresponding to operating parameters, equipment, and general description of each component of the systems was carried out, and it was found that the critical problem of energy losses is due to the poor thermal insulation of company facilities. The detailed stage consists in determining numerically energetic parameters which indicate the efficiency of the systems and where the energy is lost. Moreover, the average efficiency of the three boilers is 82% and each efficiency was obtained by two different methods that differ by 1.5%. In addition, the average effectiveness of the exchangers is 80%, and the percentage of zones without isolation, is 72%. These indicators determine the cost of energy losses which represent deficits of \$ 28,000 per year.

To conclude, a plan based on the ISO 50001 was developed in order to improve the performance of the systems. Furthermore, if thermal insulation were placed in critical areas, a saving of approximately \$ 26,000 per year would be achieved with an investment of around 3200 dollars which will be recovered in an estimated time of 2 months.

**Key words:** Energy auditing, boilers, heat exchangers, efficiency.

# **AUDITORÍA ENERGÉTICA E IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MEJORAS BASADO EN LA NORMA ISO 50001 PARA EL SISTEMA DE TINTURACIÓN Y CALDERAS DE INTELA**

## **INTRODUCCIÓN**

La eficiencia energética en toda fábrica es indispensable para un manejo óptimo de los recursos que permita que la producción sea eficiente y de alta calidad. En la actualidad, el incremento del costo energético ha promovido a que se mantenga en constante estudio los sistemas de producción de toda fábrica y que se aplique de forma correcta la normativa vigente, no solo para promover el ahorro económico, sino también para disminuir el impacto ambiental.

El presente trabajo, mediante el análisis del consumo energético y la elaboración de un plan con mejoras viables, pretende ayudar a la empresa INTELA a alcanzar un método de manufactura eficiente que promueva el ahorro energético. Es importante fortalecer el ahorro energético que influye en los procesos técnicos y administrativos, ya que sus beneficios implican la disminución del costo de producción, mantenimiento de la maquinaria y la seguridad del trabajador.

Dentro de este tema, también es importante destacar el valor que da la industria a la preservación del medio ambiente y disminución del impacto negativo ecológico. Es necesario que un plan de ahorro energético, identifique zonas críticas donde se desperdicie y se planteen medidas para un mejor uso de la energía, que den como resultado un mejor manejo de los recursos.

## **IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Intela es una empresa manufacturera de textiles enfocada en mejorar la rentabilidad de los procesos de producción, sin tomar en cuenta el aumento de consumo energético que se presenta en los diferentes sistemas, como tinturación y calderas. Esto provoca un impacto negativo a su matriz energética, conformada principalmente por electricidad y combustibles fósiles. Debido a datos provistos por la empresa, es notorio el elevado costo de operación, en comparación a textileras más grandes y de mayor producción. Por tal motivo se define que la empresa está desperdiciando energía o no tiene un régimen de control sobre la misma.

En la actualidad al hablar de eficiencia energética, se hace referencia a la máxima reducción y al mínimo desperdicio de energía, más aún en una empresa como Intela en donde nunca se ha realizado un balance energético que permita determinar qué tan eficiente es la planta, así como de igual manera nunca se ha realizado una auditoría energética que indique de manera cuantitativa el consumo real de energía y cuánto de esta se está desperdiciando.



## **Objetivo general**

Realizar una auditoría energética e implementar un plan de mejoras en base a la norma ISO 50001 para el sistema de tinturación y calderas de la industria textil latinoamericana “Intela”

## **Objetivos específicos**

- Conocer de manera técnica y operativa los distintos procesos productivos llevados a cabo en Intela.
- Describir de manera cualitativa el funcionamiento de cada uno de los equipos que conforman los sistemas de tinturación y calderas.
- Determinar las pérdidas de energía que se tiene en los sistemas.
- Determinar la eficiencia térmica de las calderas.
- Determinar la efectividad de los intercambiadores de calor de las máquinas de tinturación.
- Identificar las causas que producen pérdidas de energía en los sistemas.
- Proponer mejoras viables técnica y financieramente.
- Realizar un informe de implementación de mejoras basado en la norma ISO 50001.

# **1. MARCO TEÓRICO**

La producción de la empresa INTELA está fundamentada en los textiles para lo cual se utiliza una variedad de sistemas, en el presente capítulo se aborda de forma general los fundamentos de producción de la empresa.

## **1.1. Generalidades de la empresa**

En este apartado se describen los aspectos significativos de operación de la empresa.

### **1.1.1. Descripción general de la empresa**

“INTELA”, industria textil latinoamericana, es una empresa textil fundada en Ecuador en 1990, encargada de la producción y comercialización de tejidos de punto en forma de rodillos, cuya materia prima es principalmente hilos de poliéster y algodón [1]. Se encarga de la transformación de dichos hilos mediante una serie de procesos entre los cuales se ven involucrados el hilado, teñido, secado y finalmente el acabado para su posterior confección de indumentaria en general.

### **1.1.2. Reseña histórica**

“Intela” se funda en Ecuador en 1990 durante el mandato del Presidente Rodrigo Borja. A partir de sus inicios se funda como una empresa pionera en el ámbito de producción de textiles con tejidos de algodón y poliéster mediante maquinaria de tecnología de punta. Desde 1990, y con la revolución en sistemas de tinturación, secado y planchado, utilizando como fuente principal de energía el vapor saturado, Intela ha continuado innovando sus procesos (tejido, teñido y acabado), para ofrecer la mejor calidad al mercado ecuatoriano, mediante la contratación de personal capacitado y la constante actualización de los sistemas de producción de textiles.

### **1.1.3. Visión**

Como empresa dentro de la competencia nacional en la producción de textiles, los esfuerzos de la compañía se orientan siempre a estar a la vanguardia de la industria textil ofreciendo tejidos con un acabado uniforme que genere confianza en sus clientes.

A partir de esta premisa, la visión es cumplir con las exigencias de la sociedad para obtener un producto fiable, que genere un uso confortable para alcanzar a ser una industria que genere competencia mundial [1].

#### 1.1.4. Misión

Generar textiles mediante hilados nacionales e internacionales, y productos teñidos de la más alta calidad, para ofrecer un material que cumpla con los estándares requeridos por sastres y grandes industrias de moda. [1]

#### 1.1.5. Localización

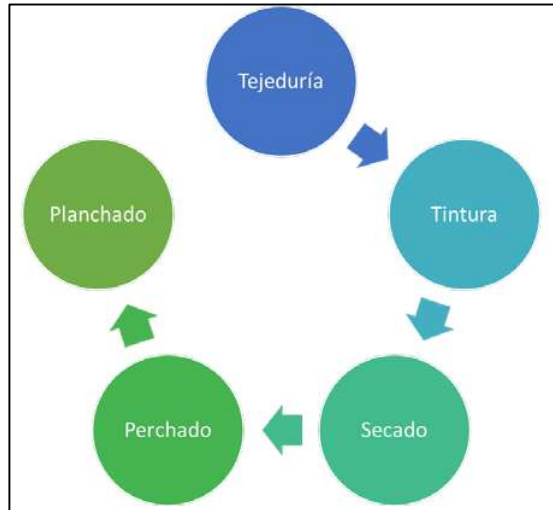
La planta industrial se encuentra ubicada en el norte de la ciudad de Quito, en la calle Duchicela y 9 de agosto, en el sector de Calderón. Lugar estratégico para abastecer de sus productos a la capital y para enviar los mismos al resto de provincias. La planta se encuentra construida sobre un área aproximada de 7000 [m<sup>2</sup>] dentro de los cuales aproximadamente 3800 [m<sup>2</sup>] corresponde a galpones donde se realiza el proceso de producción. En la Figura 1.1 se muestra el mapa de ubicación de la empresa.



**Figura 1.1.** Mapa de la ubicación de Intelta en la ciudad de Quito.  
(Fuente:[1])

#### 1.1.6. Descripción del proceso productivo

La producción de tejidos de punto, y almacenados en rodillos, consiste en cinco procesos, que se llevan a cabo en las áreas de tejeduría, tinturado, secado, perchado y doblado. En la Figura 1.2 se muestra la disposición y orden del proceso de producción.



**Figura 1.2.** Flujo de producción de textiles en la empresa Intelta.  
(Fuente: Autores)

En el Anexo 1 se muestra en detalle la distribución de áreas (Layout) de la empresa, cada una cuenta con diferentes sistemas para su correcto funcionamiento y operación. Estos son:

1. Sistema de generación de vapor.
2. Sistemas de tinturación.
3. Sistemas de secado.
4. Sistemas de planchado.
5. Sistemas de perchado.
6. Sistemas contra incendios.
7. Sistema de aire comprimido.
8. Sistema de tratamiento de aguas residuales.

El estudio se enfoca en el análisis de los sistemas 1 y 2.

#### **1.1.6.1. Área de tejeduría**

Está constituida por treinta máquinas de tejido industrial, que utilizan hilados de algodón o poliéster para producir rollos de tejido, en un color base que está determinado por la pigmentación original de los hilos.

En la Figura 1.3 se muestra una máquina de tejido industrial, componente del área de tejeduría de la empresa. Este tipo de maquinaria es el más utilizado dentro de la industria textil debido a su versatilidad de producción y a su bajo consumo eléctrico [2].



**Figura 1.3.** Sistemas de tejido industrial del área de tejeduría.  
(Fuente:[1])

### 1.1.6.2. Área de tintura.

En la Figura 1.4 se muestra el área de tinturación de la empresa que está constituida por ocho máquinas tinturadoras, que son encargadas de dar una coloración uniforme a los rollos de tela [2]. Las máquinas tinturadoras consumen principalmente vapor para elevar la temperatura del baño de tinte. Adicionalmente, las máquinas de tinturación consumen: agua, tinte, sustancias auxiliares y energía eléctrica [3].



**Figura 1.4.** Área de tinturación de la empresa.  
(Fuente: Autores)

### 1.1.6.3. Área de secado

Se encarga de eliminar todos los residuos de agua dentro de los rollos de tela que han sido previamente teñidos. En la Figura 1.5 se muestra una máquina de secado que está compuesta por tres torres de secado, que constan de un sistema de soporte del rollo de tela, un radiador por el cual circula vapor y un ventilador accionado por un motor eléctrico.

Estos generan un flujo de aire caliente que circula a través de la tela para eliminar cualquier residuo de agua.



**Figura 1.5.** Máquina de secado.  
(Fuente: Autores)

#### **1.1.6.4. Área de perchado.**

Es la encargada de retirar todo residuo sobre los rollos de tela seca (pelusas). Cuenta de dos máquinas perchadoras y dos máquinas de doblado, que utilizan aire comprimido y energía eléctrica. En la Figura 1.6 se muestra una máquina de perchado de la empresa que se encarga de voltear al reverso cada rollo de tela para dejar listo el material para la siguiente fase de producción.



**Figura 1.6.** Máquina de perchado.  
(Fuente: Autores)

#### **1.1.6.5. Área de planchado.**

Está conformada por tres planchadoras industriales, encargadas de eliminar todo tipo de arrugas en los rollos de tela. Al igual que las planchas domésticas estas consumen vapor y energía eléctrica.

En la Figura 1.7 se muestra una planchadora industrial utilizada en la empresa Intelta.



**Figura 1.7.** Máquina de planchado.  
(Fuente: Autores)

El planchado de rollos de tela es el último proceso dentro de la producción de textiles.

### 1.1.7. Energía disponible de la empresa.

Es la energía que necesita la empresa para realizar los diferentes procesos de producción. Se define la matriz energética para apreciar el tipo de energía y su aplicación específica.

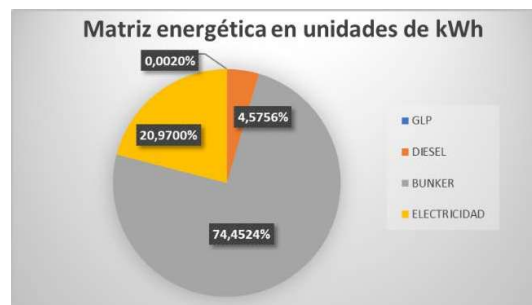
#### 1.1.7.1. Matriz energética de la empresa.

Está conformada por energía eléctrica y energía térmica obtenida de la combustión de hidrocarburos, las cuales se detallan en forma más específica en la Tabla 1.1 y Figura 1.8.

**Tabla 1.1.** Componentes de la matriz energética de la empresa.

|                                 |
|---------------------------------|
| <b>ENERGÍA ELÉCTRICA</b>        |
| Electricidad                    |
| <b>ENERGÍA DE HIDROCARBUROS</b> |
| GLP                             |
| Bunker                          |
| Diésel                          |

(Fuente: Autores)



**Figura 1.8.** Porcentaje de utilización de energía.  
(Fuente: Autores)

Los componentes de esta matriz se utilizan en aplicaciones específicas que se muestran en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2.** Aplicaciones de la energía en la empresa.

| ENERGÍA      | APLICACIONES                                                                    |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Electricidad | Compresores, bombas, máquinas de tinturación, tejedoras, planchadoras           |
| Bunker       | Calderas                                                                        |
| GLP          | Encendido de calderas                                                           |
| Diésel       | Encendido de calderas en caso de emergencia, generadores eléctricos de respaldo |

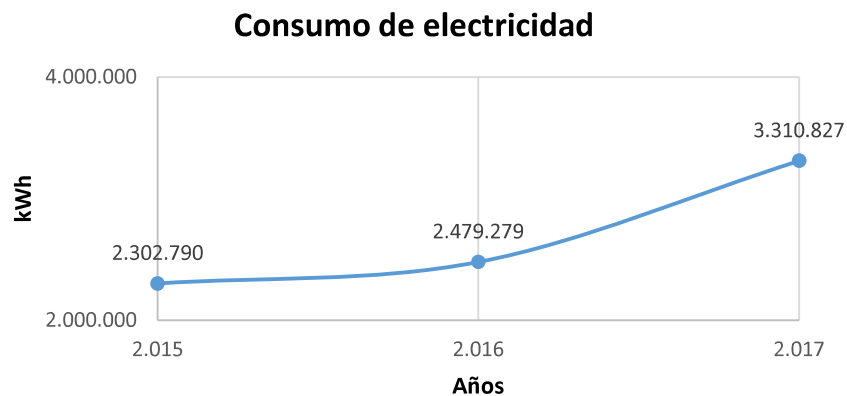
(Fuente: Autores)

El agua no es un componente de la matriz ya que no genera energía, pero si es utilizada en todos los procesos productivos como preparación de tintes, limpieza, generación de vapor entre otras.

### 1.1.7.2. Consumo de energía de la empresa.

Los datos fueron provistos por la empresa en base a la compra de los componentes de su matriz energética, y han sido recolectados en un período de tres años.. Los datos que se presentan son de compra/pago de electricidad, bunker, diésel, GLP, y agua.

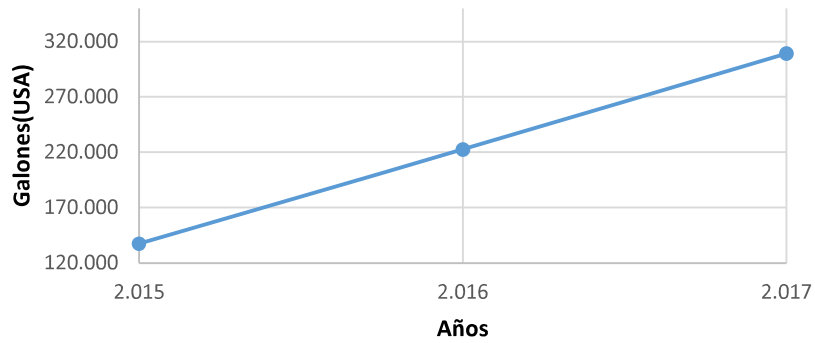
En el Anexo 2 se muestran los datos del consumo de cada uno de los componentes, mientras que en la Figura 1.9, Figura 1.10, Figura 1.11, Figura 1.12 y Figura 1.13, se muestra las gráficas de consumo a lo largo de los tres años en sus respectivas unidades.



**Figura 1.9.** Historial de consumo de eléctrico.  
(Fuente: Autores)

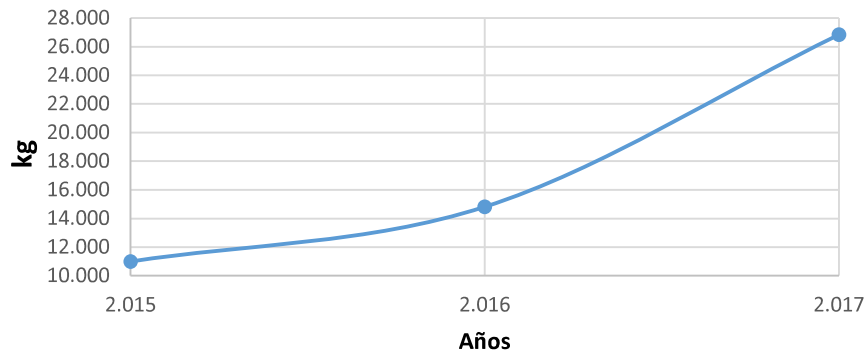


### Consumo de Bunker



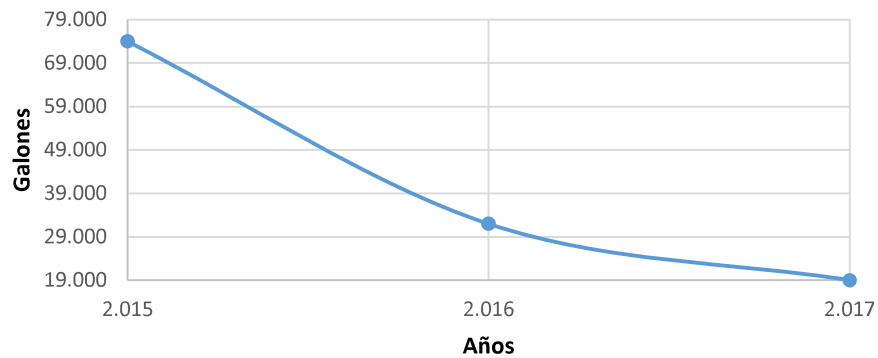
**Figura 1.10.** Historial de consumo de bunker.  
(Fuente: Autores)

### Consumo de GLP

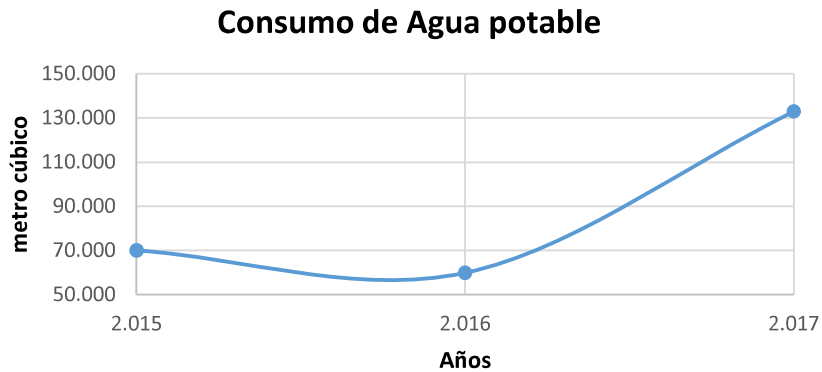


**Figura 1.11.** Historial de consumo de GLP.  
(Fuente: Autores)

### Consumo de Diesel



**Figura 1.12.** Historial de consumo de diésel.  
(Fuente: Propia)



**Figura 1.13.** Historial de consumo de agua potable.  
(Fuente: Autores)

El consumo de los elementos de la matriz energética de la empresa ha aumentado debido al aumento de producción dentro de la empresa, mismo que según información del jefe de planta ha aumentado en un 60% aproximadamente en los últimos 3 años. El aumento de producción impacta sobre el aumento del consumo de bunker en un 56% y de GLP en un 59%.

## **1.2. Sistema de generación de vapor.**

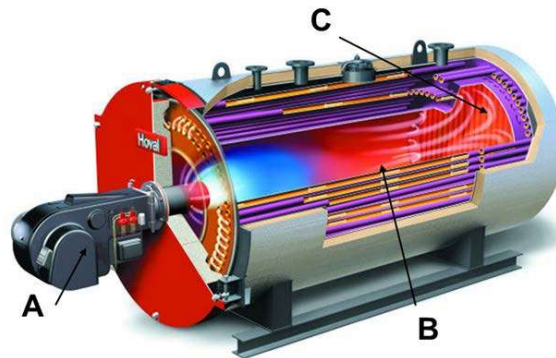
Está conformado por calderas, distribuidores, líneas de distribución, líneas de retorno y trampas de vapor [4], que permiten la generación y distribución de vapor.

### **1.2.1. Calderas.**

Son intercambiadores de calor a presión, cuya función es generar vapor mediante el intercambio de calor entre gases de combustión y un fluido de trabajo, que generalmente es agua. El agua en condiciones de temperatura y presión elevadas se evapora hasta vapor saturado, que será utilizado para aplicaciones específicas [4].

#### **1.2.1.1. Componentes de una caldera.**

La caldera está conformada por los siguientes componentes principales que se muestran en la Figura 1.14.



**Figura 1.14.** Esquema de una caldera con sus componentes principales.  
(Fuente: [5])

- A) Quemador:** Es el elemento encargado de suministrar la cantidad necesaria de aire y combustible, además de realizar la combustión.
- B) Intercambiador de calor:** Es el encargado de transferir el calor generado por la combustión, para cambiar el estado del fluido de trabajo.
- C) Chimenea:** Es un conducto encargado de evacuar los gases producto de la combustión.

### 1.2.1.2. Clasificación de calderas.

Las calderas según el manual de calderas de Kohan [4] se clasifican de la siguiente manera:

1. Por el mecanismo de trasmisión de calor.
  - De convección.
  - De radiación.
  - De convección y radiación.
2. Por el combustible utilizado.
  - De carbón.
  - Para combustibles líquidos.
  - Para combustibles gaseosos.
  - Para combustibles especiales.
  - Para combustibles variados.
3. Por la presión de trabajo.
  - Sub-críticas.
  - Supercríticas.
4. Por el tiro.
  - De tiro natural.

- De tiro forzado.

### 1.2.1.3. Tipos de calderas.

Las calderas son fabricadas en dos configuraciones que dependen de la disposición geométrica del fluido de trabajo. Estas son pirotubulares y las acuotubulares [4].

#### 1.2.1.3.1. Calderas pirotubulares.

Son aquellas en donde los gases de la combustión y el humo circulan por el interior de esta y el líquido se encuentra circulando en el exterior como se observa en la Figura 1.15. Son utilizadas en aplicaciones donde la presión no supere los 2200 [kPa]. Debido a su diseño tienen un gran volumen que les permite adaptarse mejor a distintas condiciones de trabajo.



**Figura 1.15.** Cuerpo caldera pirotubular.  
(Fuente: [5])

Las calderas pirotubulares, se encuentran en dos disposiciones, horizontal y vertical. Además en base al número de haces tubulares existen de dos y tres pasos de gases [5].

#### 1.2.1.3.2. Calderas acuotubulares.

Son aquellas en donde el fluido de trabajo se desplaza por el interior de los tubos durante el calentamiento y los gases de combustión circulan por el exterior [6], como se observa en la Figura 1.16. Son utilizadas en aplicaciones en donde se requiere una presión mayor a 2200 [kPa].



**Figura 1.16.** Cuerpo de caldera acuotubular.  
(Fuente: [5])

### 1.2.2. Distribuidores de vapor.

Son equipos formados por un cilindro horizontal que posee en su parte superior una serie de tuberías para la alimentación y distribución de vapor como se observa en la Figura 1.17. Sus características principales son:

- Son diseñados y fabricados según las necesidades de operación.
- Su presión de diseño depende de la presión del generador de vapor.
- Poseen una serie de válvulas para el control del flujo de vapor.



**Figura 1.17.** Equipo de distribución de vapor.  
(Fuente: [6])

### 1.2.3. Líneas de distribución de vapor y retorno de condensado

Son tuberías cuya función es direccionar el vapor hacia las diferentes aplicaciones y retornar el condensado hacia un tanque de recolección [6].

### 1.2.4. Tanques de condensado.

Son recipientes de forma cilíndrica cuya función es recolectar el condensado (previamente utilizado como vapor) y direccionarlo hacia la caldera mediante una bomba centrífuga [6].

Las ventajas presentadas por este equipo son:

- Menor consumo de agua.
- Alimentar a la caldera con agua a temperaturas mayores a la ambiental.

En la Figura 1.18 se muestra un tanque de condensado.



**Figura 1.18.** Tanque de condensado.  
(Fuente: [6])

### 1.2.5. Trampas de vapor.

Son válvulas automáticas encargadas de realizar un filtro de condensado e impedir el paso de vapor [5], además de permitir el drenado de condensado desde un sistema que ocupa vapor [7].

Las funciones que cumple una trampa de vapor dentro de un sistema de generación de vapor son las siguientes [8]:

- Permitir el escape de condensado y aire, durante el arranque de cualquier proceso.
- Minimizar pérdidas de vapor.
- Permitir que el condensado recogido se dirija hacia las líneas de retorno de condensado y no se estanque en la máquina durante el funcionamiento normal de la misma.

Las trampas de vapor según su principio de funcionamiento se clasifican en:

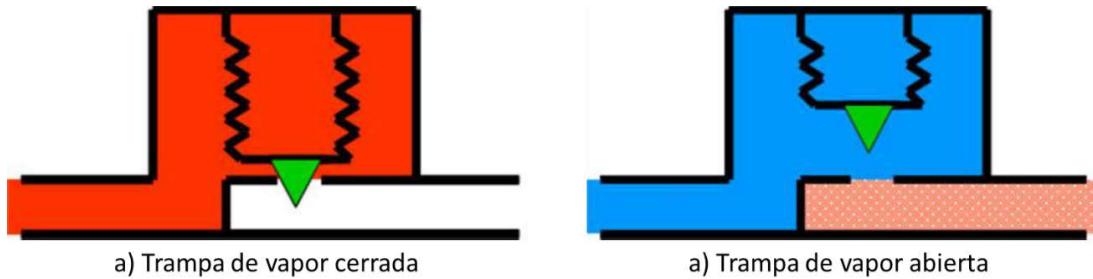
- a) Trampas termostáticas:
  - a. Trampas de fuelle.
  - b. Trampas bimetálicas.
- b) Trampas mecánicas.
  - a. Trampas de flotador.
  - b. Trampas de flotador y palanca.
  - c. Trampas de cubeta invertida.
  - d. Trampas de cubeta abierta.
  - e. Trampas de flotador y termostática.
- c) Trampas termodinámicas.
  - a. Trampas de disco.
  - b. Trampas de pistón.
  - c. Trampas de palanca.
- d) Trampas de orificio.
  - a. Trampas de placa.
  - b. Trampas de tubos de Venturi.

#### **1.2.5.1. Trampas de vapor termostáticas.**

Su funcionamiento se basa en la diferencia de temperaturas entre el vapor y el condensado sub enfriado. La válvula actúa mediante la expansión lineal de un elemento bimetálico o un fuelle lleno de líquido.

En la Figura 1.19 se muestra el funcionamiento de una trampa de vapor termostática. Cuando la trampa se encuentra cerrada, la cámara anterior se encuentra llena de vapor saturado, caso contrario, cuando dicho vapor es subenfriado la trampa se encuentra abierta. Dichos estados se consiguen mediante un mecanismo con un fuelle que es sensible a la temperatura, es decir a mayor temperatura el mecanismo se expande (abre la trampa) y a menor temperatura se contrae (cierra la trampa). Para asegurar la

sensibilidad de dichos elementos, las trampas operan con una diferencia de temperatura de cinco a veinte grados centígrados [8], esto con el fin de evitar la extracción de vapor saturado.

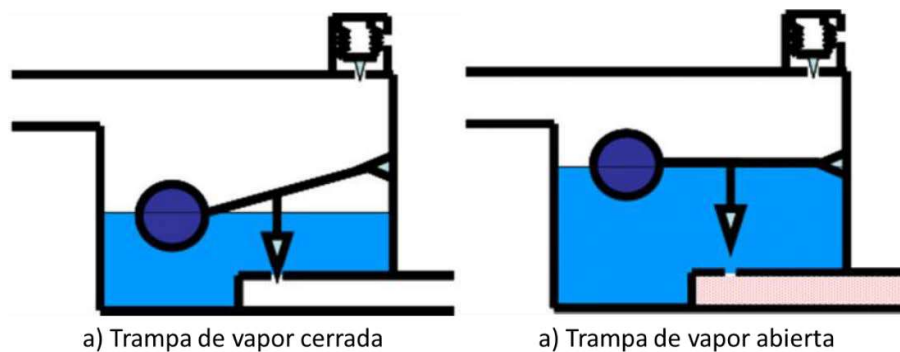


**Figura 1.19.** Funcionamiento trampa de vapor termostática.  
(Fuente: [8])

### 1.2.5.2. Trampas de vapor mecánicas.

Su funcionamiento se basa en la diferencia de densidades entre el condensado, en la parte inferior de la trampa, y el vapor que está en la parte superior de la trampa de vapor [9]. Mientras mayor sea la cantidad de condensado, la trampa se llenará del condensado y abrirá un orificio por la parte inferior dejándolo pasar.

En la Figura 1.20 se muestra el funcionamiento de una trampa de vapor mecánica con flotador.

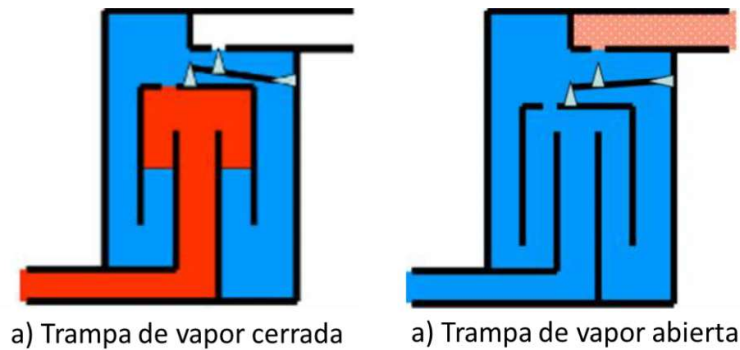


**Figura 1.20.** Funcionamiento trampa de vapor mecánica con flotador.  
(Fuente: [8])

Una desventaja de estos equipos es que no permiten la salida de aire o gases no condensables, sino solo líquidos.

En la Figura 1.21 se muestra el funcionamiento de una trampa de vapor mecánica de cubierta invertida.





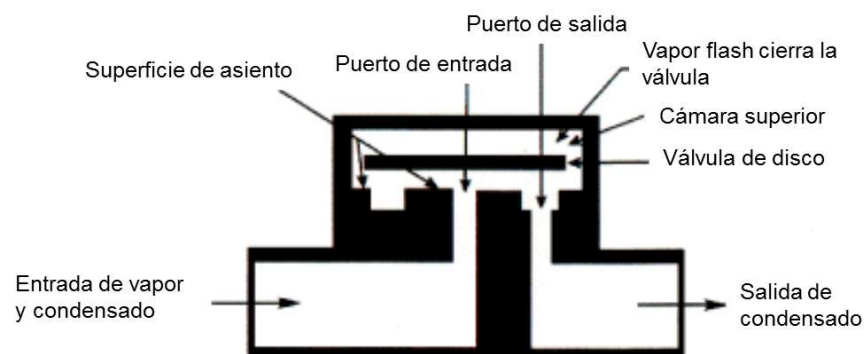
**Figura 1.21.** Funcionamiento trampa de vapor mecánica de cubierta invertida.  
(Fuente: [8])

En este caso la cubeta invertida funciona como flotador, y cuando la misma se encuentra llena de condensado se da vuelta, es decir la válvula de salida cambia su posición a abierta y permite la salida de condensado.

### 1.2.5.3. Trampas de vapor termodinámicas.

Su funcionamiento se basa en la diferencia de presiones entre el vapor y condensado [9]; y la ecuación de Bernoulli.

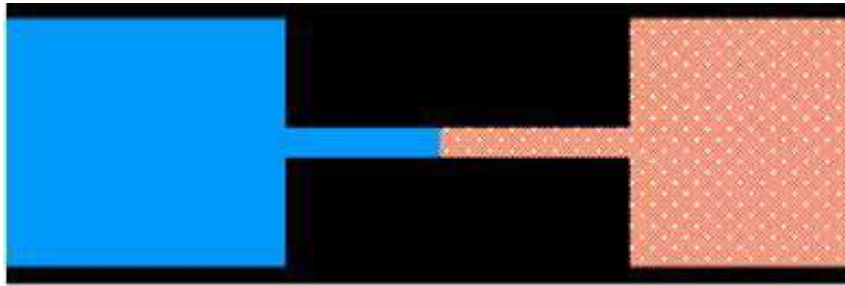
En la Figura 1.22 se muestran las partes y funcionamiento de una trampa termodinámica de disco que consiste en levantar el asiento de la válvula cuando condensado subenfriado ingresa a la trampa de vapor. Este movimiento produce que la válvula se abra y permita el paso de condensado dentro de la cámara superior y hacia afuera de la trampa. Cuando la cámara se llena de vapor, el mismo genera una presión mayor sobre el disco produciendo que la trampa se cierre y evitando el paso de vapor a través de la misma. Cuando dicho vapor se condensa, el condensado tendrá mayor presión y producirá que la trampa se vuelva a abrir.



**Figura 1.22.** Partes y funcionamiento trampa de vapor termodinámica de disco.  
(Fuente: [9])

#### 1.2.5.4. Trampas de vapor de orificio.

Su funcionamiento se basa en la diferencia de propiedades volumétricas entre el vapor y el condensado, dichas trampas no poseen ninguna parte móvil y su único componente es un orificio restrictivo y una tobera de tipo Venturi como se observa en la Figura 1.23. Por lo tanto, la densidad del condensado que es mayor que la del vapor, permite que el condensado pase por un orificio pequeño. La desventaja de estas trampas es que el condensado pasa a través del orificio con pequeñas cantidades de vapor.



**Figura 1.23.** Funcionamiento de trampa de vapor de orificio (azul-condensado; rojo-vapor).  
(Fuente: [8])

#### 1.2.5.5. Inspección de trampas de vapor.

Conocer el estado de las trampas de vapor es indispensable para poder cuantificar las pérdidas por las mismas y las cualidades de su funcionamiento. Una correcta inspección de trampas permite determinar pérdidas de vapor, que están relacionadas con pérdidas económicas de la empresa, así como algunos inconvenientes en el mal funcionamiento de estas, que causarían daños en las líneas de distribución de vapor [9]. Algunos inconvenientes debido al mal funcionamiento pueden ser:

- El condensado no removido provoca conducción de agua y de muy poco calor.
- El exceso de condensado puede conllevar, golpe de ariete hidráulico.

En la industria existen algunos métodos de inspección para poder conocer el estado de las trampas de vapor, entre esos métodos se encuentran [7]:

1. Método visual.
2. Método electrónico.
3. Método acústico.
4. Método térmico.

### 1.3. Sistema de tinturación.

Es el conjunto de equipos cuya función es tinturar un textil [2].

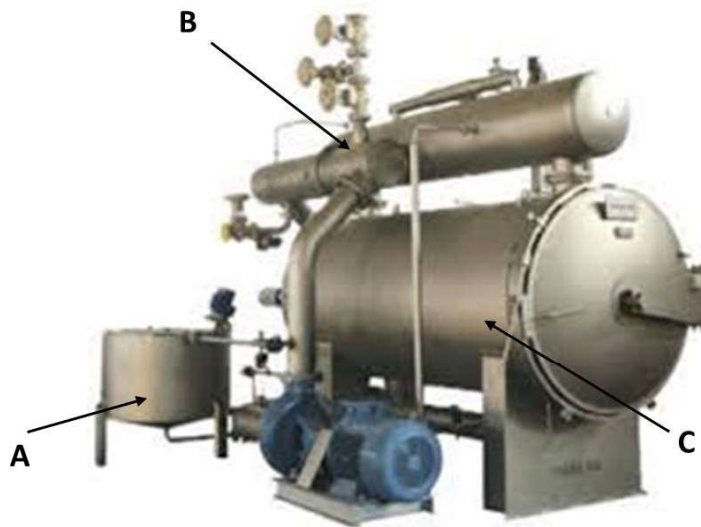
#### 1.3.1. Máquinas de tinturación

Es un equipo utilizado para generar una coloración uniforme en el rollo de tela mediante tres pasos fundamentales [2]:

1. Preparación del baño de tinte para la mezcla (la mezcla es baño de tinte más agua)
2. Calentamiento de la mezcla hasta una temperatura de trabajo.
3. Fijación del tinte en la tela.

##### 1.3.1.1. Componentes de una máquina de tinturación

En la Figura 1.24 se muestra una máquina de tinturación con sus componentes principales.



**Figura 1.24.** Máquina de tinturación  
(Fuente: [3])

Donde:

- A) Tanque de mezclado:** Es donde se realiza la preparación y el calentamiento del baño de tinte (sustancias auxiliares más agua).
- B) Intercambiador de calor:** Es el encargado de elevar la temperatura de la mezcla para permitir la fijación del baño de tinte.

**C) Cuerpo de la máquina:** Es donde se realiza la fijación del baño de tinte en el rollo de tela.

### **1.3.1.2. Clasificación de máquinas de tinturación.**

El “Handbook of dyeing” [3], se basa en las condiciones de trabajo de las máquinas de tinturación y las clasifica de la siguiente manera:

- Máquinas de alta temperatura.
- Máquinas de alta presión.
- Máquinas de alta temperatura y presión.

### **1.3.1.3. Tipos de máquinas de tinturación**

Entre los tipos más importantes se tiene:

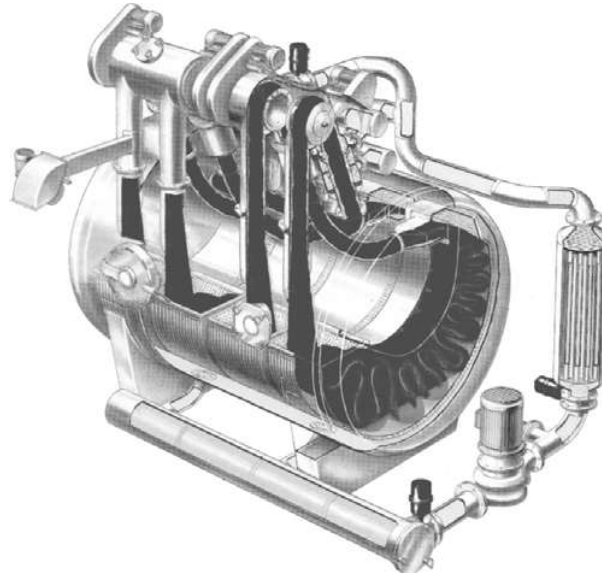
1. Jiggers.
2. Máquinas de tinturación de haz.
3. Winches.
4. Máquinas de tinturación de elevadas temperaturas *softflow/overflow*.
5. Máquinas de tinturación jet con sistema hidráulico de flujo.
6. Máquinas de tinturación de flujo de aire con sistema de flujo aerodinámico.
7. Máquinas de tinturación atmosféricas *softflow/overflow*.

Actualmente las utilizadas son las tres últimas.

#### **1.3.1.3.1. Máquinas de tinturación jet con sistema hidráulico de flujo.**

Las máquinas más utilizadas para tinturar poliéster son de tipo *jet* con sistema hidráulico de flujo, debido a que tinturan a elevadas presiones y temperaturas [3]. Este tipo de máquinas se denominan de tipo “*Jet*” debido a que utilizan el principio Venturi para aumentar la velocidad del baño de tinte a la salida de la boquilla que llega al cuerpo de tinturación y que impacta con el tejido.

En la Figura 1.25 se observa una máquina de tinturación de la marca MCS Italy, además del movimiento del tejido a través del cuerpo de la misma mediante los distintos carretes que posee y la impulsión del baño de tinte a través de una bomba centrífuga .

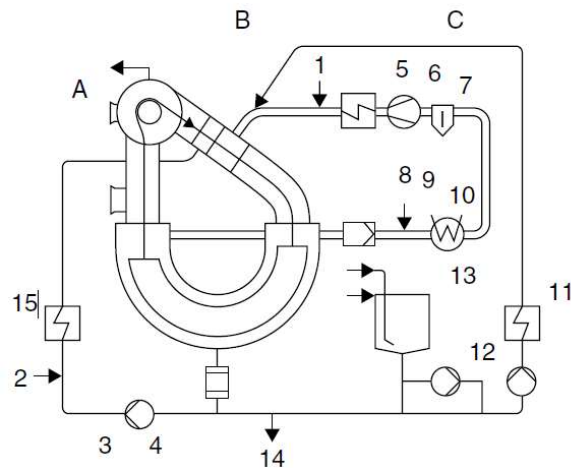


**Figura 1.25.** Máquina de tinturación *MCS Italy*, modelo *multiflow*.  
(Fuente: [3])

#### **1.3.1.3.2. Máquinas de tinturación de flujo de aire con sistema de flujo aerodinámico.**

Poseen un sistema aerodinámico que genera una corriente de aire, encargada de realizar el movimiento del textil a través de la mezcla. Son conocidas como máquinas de tinturación de transporte de aire debido a que su sistema permite realizar la tinturación desde telas muy delicadas hasta las más duras. Adicionalmente, estas máquinas son principalmente producidas para trabajar a elevadas temperaturas y a presión atmosférica.

En la Figura 1.26 se muestra un diagrama, de las partes y circuitos típicos de un sistema de tinturación de flujo de aire, mismo que fue desarrollado por la empresa “*THEN*” que fue pionera en integrar el sistema de aire. Adicionalmente las letras A, B, y C, representan los circuitos de baño de tinte o mezcla, gas, y de inyección respectivamente.

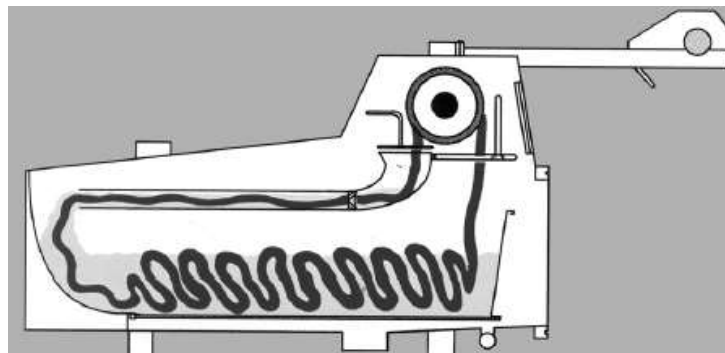


**Figura 1.26.** Sistema de tinturación de flujo de aire.  
(Fuente:[3])

En la Figura 1.26 se observa las siguientes partes: 1. Entrada de vapor; 2. Entrada de agua; 3. Bomba de mezcla; 4. Filtro de mezcla; 5. Intercambiador de calor entre aire y vapor; 6. Ventilador; 7. Trampa de vapor; 8. Filtro; 9. Aire comprimido; 10. Enfriador de vapor y aire; 11. Bomba de inyección; 12. Bomba adicional; 13. Tanque de mezcla; 14. Descarga de elevada temperatura; 15. Intercambiador de calor.

### 1.3.1.3.3. Máquinas de tinturación atmosféricas *softflow/overflow*.

Son equipos diseñados para trabajar a presiones atmosféricas y a bajas temperaturas (temperaturas de hasta 100 °C), por lo que son las más apropiadas para tinturar telas delicadas y sensibles como tejidos de punto [2]. En estos equipos *softflow/overflow* el baño de tinte circula de forma libre y es adicionado al tejido mediante la gravedad y sin el efecto que produce la presión del equipo como se observa en la Figura 1.27.

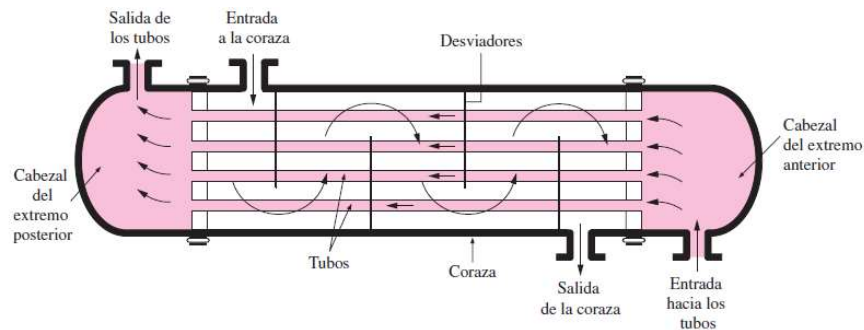


**Figura 1.27.** Sistema de tinturación *FALLFLOW Compact* de la empresa Loris Bellini, Italia.  
(Fuente:[3])

### 1.3.2. Intercambiadores de calor.

Son equipos que facilitan el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a diferente temperatura, evitando que se mezclen entre sí. Tienen varias aplicaciones desde sistemas domésticos de calefacción y acondicionamiento de aire hasta procesos químicos y de producción de energía en plantas industriales [10].

En la Figura 1.28 se observa el intercambiador más utilizado en aplicaciones industriales, intercambiador de tubos y corazas. Este tipo contiene un gran número de tubos empacados en un caso paralelo a este. La transferencia de calor ocurre mediante el paso de un fluido por los tubos mientras el otro se mueve por la coraza [10]. Su configuración de trabajo depende del número de pasos que existan en los tubos y en la coraza.

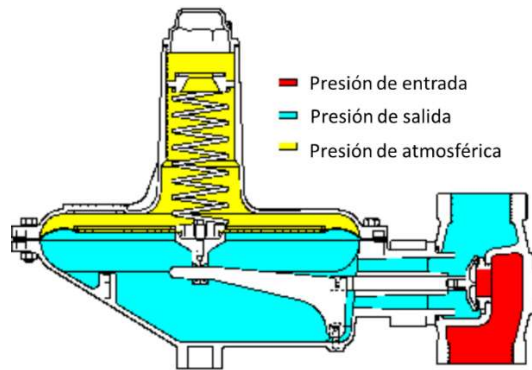


**Figura 1.28.** Intercambiador de calor de tubos y coraza con sus partes principales.  
(Fuente: [10])

### 1.3.3. Reguladores de presión.

Son controladores automáticos de las variaciones de presión en la descarga del vapor. Los reguladores de presión permiten reducir la presión del vapor producido en calderas para aprovechar su mayor calor latente [11].

Como se observa en la Figura 1.29 la presión atmosférica es la encargada de generar trabajo para aumentar o disminuir la presión, adicionalmente en este lugar puede incluirse un mecanismo para aumentar la presión atmosférica que es transmitida hacia el interior del regulador de presión.

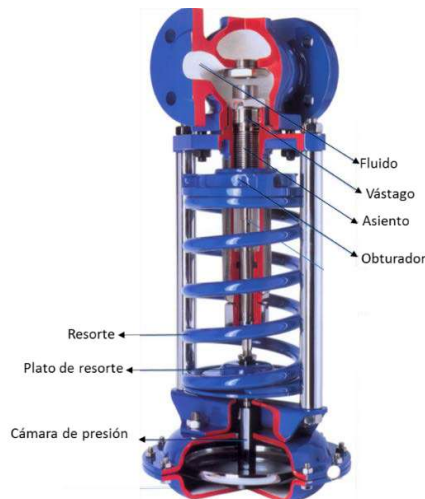


**Figura 1.29.** Distribución de presiones en regulador de presión.

(Fuente:[12])

Los reguladores más utilizados para que un sistema aproveche el máximo calor latente de vapor, son los siguientes [13]:

1. Reguladores de presión de acción directa: Como se observa en la Figura 1.30, son válvulas reductoras de presión que cuentan con un menor número de partes móviles, tienen un resorte como único ajuste para la presión suministrada. Al empezar la circulación de vapor la presión de este empuja al obturador lejos del piloto, permitiendo que dicho vapor fluya en dirección de la presión de salida. Mediante una llave se procede a girar una tuerca que comprimirá el resorte mediante un plato de control, dicha fuerza producida por el resorte será transmitida a través del plato al empujador de la válvula que mantiene al obturador en una posición absolutamente abierta [14].



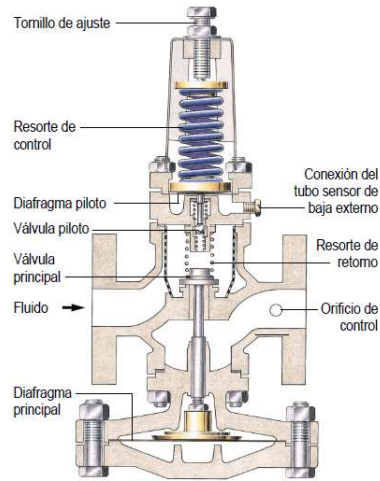
**Figura 1.30.** Válvula reguladora de presión de acción directa.

(Fuente: [14])

2. Reguladores de presión pilotados: Como se observa en la Figura 1.31, son válvulas que trabajan equilibrando la presión de salida con el resorte de control, dicho resorte



es el encargado de mover al obturador en contra del piloto. El fluido a través del piloto llega a la válvula principal actuando sobre dicha válvula [11].



**Figura 1.31.** Válvula reductora de presión pilotada.  
(Fuente: [11])

## 1.4. Auditoría energética

Se define como un proceso sistemático para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos en una instalación o sistema, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía desde un punto técnico y financiero [15].

En general, una auditoría energética permite lo siguiente:

- Conocer la situación energética actual, así como el funcionamiento y eficiencia de los equipos e instalaciones.
- Inventariar los equipos principales con sus componentes.
- Realizar mediciones y registros de los principales parámetros eléctricos, térmicos y de confort.
- Analizar las posibilidades de optimización del suministro de combustible, agua y electricidad.
- Analizar las posibilidades de implementar sistemas de energía renovable.
- Proponer mejoras y realizar su evaluación técnica y financiera.

### 1.4.1. Tipos de auditorías energéticas

Existen varios tipos que dependen de su aplicación y lugar de ejecución, pero destacan de manera global dos:

- Auditoría energética preliminar.
- Auditoría energética detallada.

#### **1.4.1.1. Auditoría energética preliminar**

Es la etapa inicial y consiste en el levantamiento de información de todos los equipos e instalaciones a auditarse, destacando parámetros de funcionamiento y operación. Es una inspección de campo que consiste en visualizar de manera directa cada uno de los componentes de los sistemas destacando zonas donde presumiblemente se pierde energía, que serán analizadas de manera detallada más adelante.

En la auditoría energética preliminar se obtienen parámetros cualitativos que indican la calidad del trabajo de un equipo o instalación [16].

#### **1.4.1.2. Auditoría energética detallada**

Es la etapa donde se miden parámetros energéticos como kilovatios, temperaturas, flujos másicos entre otros, para realizar un balance energético aplicando leyes termodinámicas y ecuaciones de transferencia de calor, para obtener eficiencias, efectividades y pérdidas de energía.

En la auditoría energética detallada se determina parámetros cuantitativos que indican de manera numérica el ahorro o pérdida de energía, así como el funcionamiento y operación de un equipo o instalación.

#### **1.4.2. Pasos para la realización de una auditoría energética**

1. Contacto: Consultor y empresa.
2. Inspección de las instalaciones.
  - a. Identificación general de la empresa.
  - b. Descripción de los procesos de producción.
  - c. Fuentes de suministro de energía.
3. Análisis del uso de energía de la empresa.
  - a. Descripción y características de cada equipo.
  - b. Energía utilizada en la producción.

4. Determinación de la instrumentación a emplear y sistemas de medida.
5. Planteamiento de balances energéticos
6. Informe técnico – financiero.
  - a. Evaluación de operaciones básicas.
  - b. Eficiencia de equipos.
  - c. Determinación de mejoras.
  - d. Ahorro de energía.
  - e. Ahorro económico.
7. Conclusiones y recomendaciones.

#### **1.4.3. Norma ISO 50001:2018**

Es una norma enfocada en el manejo de sistema energéticos. Además, es un documento que especifica los requerimientos para establecer, implementar, evaluar y mejorar un sistema de gestión energética, además de ser una guía sistemática para que toda organización pueda alcanzar una mejora continua en su gestión energética.

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta el conjunto de métodos que permiten la ejecución de la auditoría energética.

### 2.1. Metodología para auditoría energética preliminar

Corresponde al levantamiento de información de los sistemas de tinturación y generación de vapor.

#### 2.1.1. Auditoría energética preliminar del sistema de generación de vapor

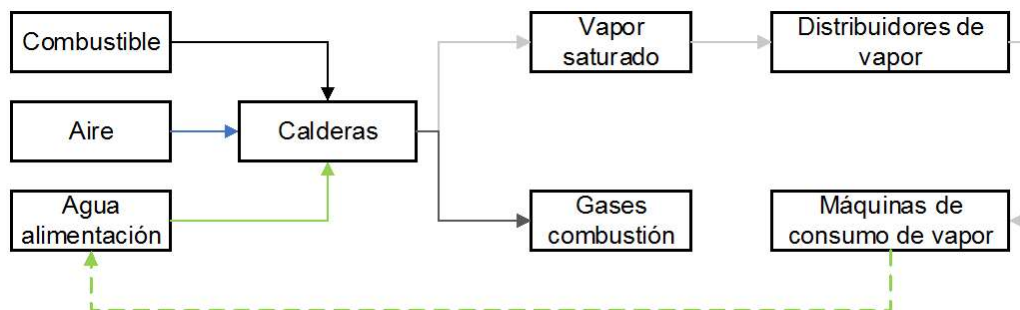
##### 2.1.1.1. Descripción del funcionamiento del sistema de generación de vapor.

El agua de alimentación llega a las calderas mediante bombas centrífugas, y dicha agua absorbe calor liberado del proceso de combustión de bunker o GLP, provocando que aumente su temperatura y que cambie su estado (líquido a vapor saturado).

El vapor saturado es dirigido hacia los distribuidores, que en conjunto con las líneas de distribución se encargan de re direccionar el vapor a las diferentes máquinas de consumo.

En las máquinas, el vapor es utilizado en funciones específicas, y luego retorna en forma de condensado a tanques de almacenamiento, en donde mediante bombas centrífugas vuelve a ingresar a las calderas y se repite el proceso.

En la Figura 2.1 se muestra el funcionamiento del sistema de generación de vapor.



**Figura 2.1.** Funcionamiento sistema de generación de vapor.  
(Fuente: Autores)

### 2.1.1.2. Equipos que intervienen en el sistema de generación de vapor

Los equipos que conforman el sistema y que serán evaluados energéticamente, son los siguientes:

- Calderas de vapor.
  - Suministro de combustible.
  - Suministro de agua de alimentación.
- Distribuidores de vapor.
  - Líneas de distribución de vapor.
- Tanques de condensado.
  - Líneas de retorno de condensado.
- Equipos de consumo de vapor.

### 2.1.1.3. Calderas de vapor de la empresa Intela.

La empresa posee tres calderas pirotubulares encargadas de generar vapor saturado a diferentes presiones de trabajo, y son las siguientes:

- Caldera N°1: *CLEAVER BROOKS* modelo CB600 - 250
- Caldera N°2: *KEWANNE* modelo H3S - 300 - 06
- Caldera N°3: *COLUMBIA* modelo 3P - 250500406 - WEB

En la Tabla 2.1, Tabla 2.3 y Tabla 2.4 se muestran los datos de operación obtenidos de la placa de cada caldera.

**Tabla 2.1.** Datos de placa de caldera N°1.

|                                  |                               |          |         |         |        |
|----------------------------------|-------------------------------|----------|---------|---------|--------|
| <b>Marca</b>                     | CLEAVER BROOKS                |          |         |         |        |
| <b>Modelo</b>                    | CB600 - 250                   |          |         |         |        |
| <b>Tipo</b>                      | Pirotubular                   |          |         |         |        |
| <b>Capacidad</b>                 | 250 [BHP]                     |          |         |         |        |
| <b>Presión operación</b>         | 150 [psig]                    |          |         |         |        |
| <b>Requerimientos eléctricos</b> | <b>Suministro principal</b>   | 230 V    | 3 fases | 60 [Hz] | 47 [A] |
|                                  | <b>Motor soplador</b>         | 10 [Hp]  |         |         |        |
|                                  | <b>Calentador combustible</b> | 7,5 [kW] |         |         |        |

(Fuente: Autores)

**Tabla 2.2.** Continuación Tabla 2.1.

|                                          |                 |                         |         |         |       |
|------------------------------------------|-----------------|-------------------------|---------|---------|-------|
| <b>Dimensiones</b>                       | <b>Largo</b>    | 4,4 [m]                 |         |         |       |
|                                          | <b>Diámetro</b> | 2,0 [m]                 |         |         |       |
| <b>Motor Bomba aceite</b>                |                 | 230 V                   | 3 fases | 60 [Hz] | 2 [A] |
| <b>Consumo aproximado de combustible</b> |                 |                         |         |         |       |
| <b>Diésel</b>                            | 70 [GPH]        | 265 [l/h]               |         |         |       |
| <b>Gas</b>                               | 10461 [MBH]     | 296 [m <sup>3</sup> /h] |         |         |       |

(Fuente: Autores)

**Tabla 2.3.** Datos de placa de caldera N°2.

|                                          |                               |                        |         |         |        |
|------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------|---------|--------|
| <b>Marca</b>                             | KEWANEE                       |                        |         |         |        |
| <b>Modelo</b>                            | H3S - 300 - 06                |                        |         |         |        |
| <b>Tipo</b>                              | Piro tubular                  |                        |         |         |        |
| <b>Capacidad</b>                         | 12554 [MBH] – 375 [BHP]       |                        |         |         |        |
| <b>Presión operación</b>                 | 150 [psig]                    |                        |         |         |        |
| <b>Requerimientos eléctricos</b>         | <b>Suministro principal</b>   | 220 V                  | 3 fases | 60 [Hz] | 78 [A] |
|                                          | <b>Motor soplador</b>         | [Hp]                   |         |         |        |
|                                          | <b>Calentador combustible</b> | [kW]                   |         |         |        |
| <b>Dimensiones</b>                       | <b>Largo</b>                  | 4.5 [m]                |         |         |        |
|                                          | <b>Diámetro</b>               | 2.3 [m]                |         |         |        |
| <b>Motor Bomba aceite</b>                |                               | 230 V                  | 3 fases | 60[Hz]  | 2 [A]  |
| <b>Consumo aproximado de combustible</b> |                               |                        |         |         |        |
| <b>Diésel</b>                            | 16.8 - 84 [GPH]               | 63.5 – 318 [L/h]       |         |         |        |
| <b>Gas</b>                               | 10043 [MBH]                   | 284[m <sup>3</sup> /h] |         |         |        |

(Fuente: Autores)

**Tabla 2.4.** Datos de placa de caldera N°3.

|                          |                    |  |  |  |  |
|--------------------------|--------------------|--|--|--|--|
| <b>Marca</b>             | COLUMBIA           |  |  |  |  |
| <b>Modelo</b>            | 3P – 250500406 WEB |  |  |  |  |
| <b>Tipo</b>              | Piro tubular       |  |  |  |  |
| <b>Capacidad</b>         | 250 [BHP]          |  |  |  |  |
| <b>Presión operación</b> | 150 [psig]         |  |  |  |  |

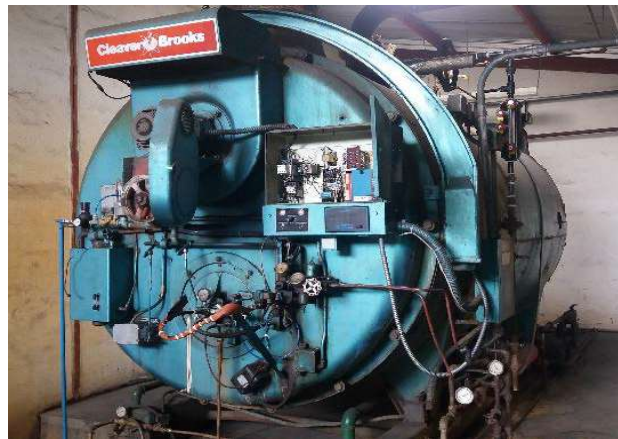
(Fuente: Autores)

**Tabla 2.5.** Continuación Tabla 2.4.

|                                          |                               |                        |         |         |       |
|------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------|---------|-------|
| <b>Requerimientos eléctricos</b>         | <b>Suministro principal</b>   | 115 V                  | 1 fase  | 60 [Hz] | 5 [A] |
|                                          | <b>Motor soplador</b>         | 6.2 [Hp]               |         |         |       |
|                                          | <b>Calentador combustible</b> |                        |         |         |       |
| <b>Dimensiones</b>                       | <b>Largo</b>                  | 4,0 [m]                |         |         |       |
|                                          | <b>Diámetro</b>               | 2,1 [m]                |         |         |       |
| <b>Motor Bomba aceite</b>                |                               | 460 V                  | 3 fases | 60 [Hz] | 9 [A] |
| <b>Consumo aproximado de combustible</b> |                               |                        |         |         |       |
| <b>Diésel</b>                            | 70 GPH                        | 265[l/h]               |         |         |       |
| <b>Gas</b>                               | 10461 [MBH]                   | 296[m <sup>3</sup> /h] |         |         |       |

(Fuente: Autores)

En la Figura 2.2, Figura 2.3 y Figura 2.4 se muestran cada una de las calderas.



**Figura 2.2.** Fotografía de la caldera N°1  
(Fuente: Autores)



**Figura 2.3.** Fotografía de la caldera N°2  
(Fuente: Autores)



**Figura 2.4.** Fotografía de la caldera N°3  
(Fuente: Autores)

### **2.1.1.3.1. Suministro de combustible**

El combustible que es suministrado a las calderas se encuentra en estado gaseoso (GLP) y líquido (Bunker), debido a que las calderas poseen quemadores mixtos. El combustible utilizado depende de la etapa de funcionamiento de la caldera, y estas etapas son: encendido, funcionamiento continuo y apagado.

El encendido de las calderas se realiza mediante GLP, mientras que el funcionamiento continuo se lo realiza con Bunker y en el apagado se utiliza GLP. La combustión se realiza en estas tres etapas debido a la condición viscosa del bunker a temperatura ambiente, mismo que podría taponar las cañerías de inyección de combustible.

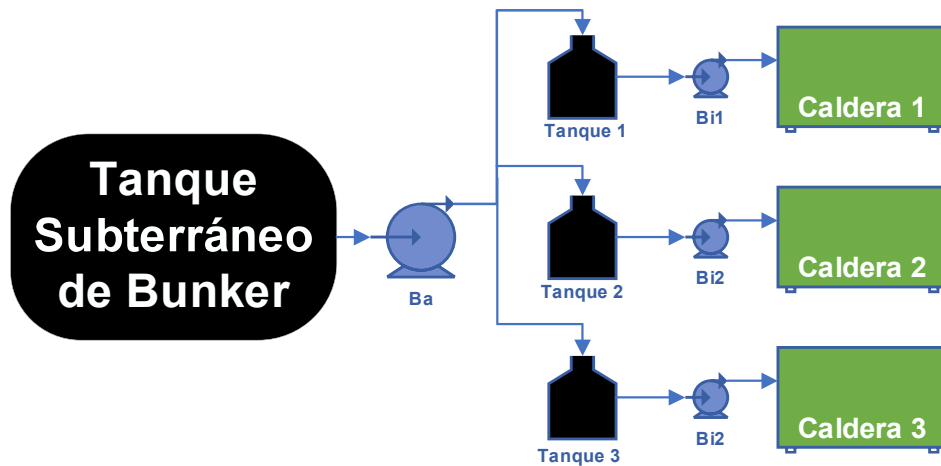
El GLP es suministrado directamente desde cilindros ubicados en la bodega, existen tres, uno para cada caldera y son de tipo industrial. En la Figura 2.5 se observa la tubería de ingreso de GLP.



**Figura 2.5.** Suministro de GLP  
(Fuente: Autores)



El bunker es suministrado mediante una bomba de paletas a cada uno de los tanques de abastecimiento, que proveen de combustible a los quemadores mediante bombas de paletas más pequeñas. En la Figura 2.6 se presenta el suministro de bunker a cada una de las calderas.



**Ba: Bomba de abastecimiento**

**Bi: Bomba de inyección**

**Figura 2.6.** Suministro de bunker  
(Fuente: Autores)

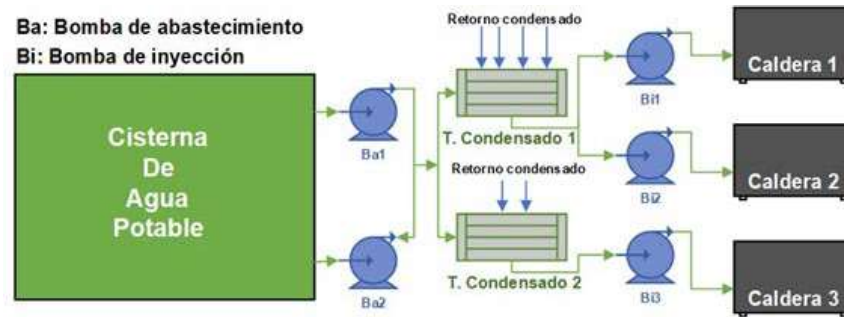
### 2.1.1.3.2. Suministro de agua

El agua es proporcionada desde la red potable, llegando a una cisterna de abastecimiento que posee una capacidad aproximada de 320 m<sup>3</sup>. Esta cisterna es convencional, no hay variación de presión ni de temperatura. El personal de mantenimiento vierte cierta cantidad de cloro para eliminación de impurezas.

El agua es distribuida mediante dos bombas centrífugas conectadas en paralelo desde la cisterna, hacia los tanques de condensado, donde el agua se mezcla con el condensado que retorna de las máquinas de consumo de vapor.

El agua de alimentación hacia las calderas es transportada mediante tres bombas centrífugas conectadas a la parte inferior de los tanques de condensado, estas son accionadas por sensores de nivel propios de cada caldera.

En la entrada de agua de alimentación de la caldera existen tanques de ablandamiento que permiten la eliminación de sales minerales. En la Figura 2.7 se presenta el suministro de agua a cada una de las calderas.



**Figura 2.7.** Suministro de agua.  
(Fuente: Autores)

#### 2.1.1.4. Distribuidores de vapor

La empresa cuenta con dos distribuidores como se observa en la Figura 2.8 y sus características geométricas se presentan en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6.** Distribuidores de vapor.

| DISTRIBUIDOR | ALIMENTACIÓN DE VAPOR | DIÁMETRO [m] | LONGITUD [m] |
|--------------|-----------------------|--------------|--------------|
| 1            | Caldera 1 - 2         | 0,23         | 2,5          |
| 2            | Caldera 3             | 0,23         | 1,4          |

(Fuente: Autores)



**Figura 2.8.** Distribuidor de vapor 1 (izquierda), y 2 (derecha)  
(Fuente: Autores)

##### 2.1.1.4.1. Líneas de distribución de vapor

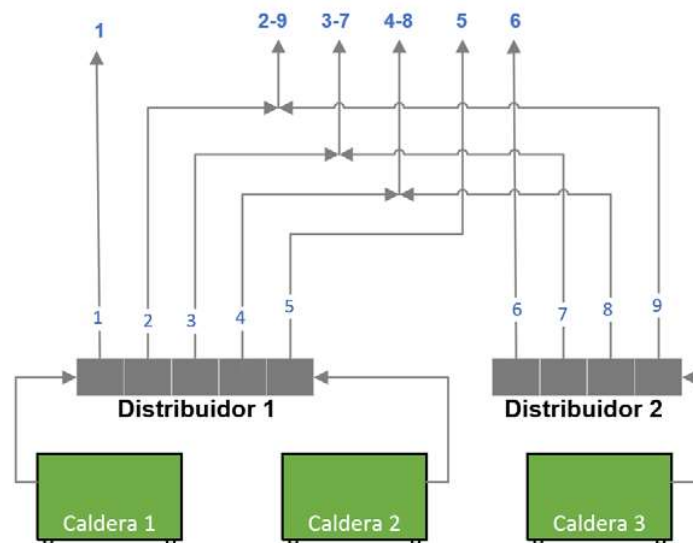
Se disponen de 9 líneas de distribución, que serán asignadas con un número respectivamente (1 - 9) para su identificación, cada una de estas posee válvulas de paso para operaciones de mantenimiento. En la Tabla 2.7 se muestra las líneas con su respectivo distribuidor y el área específica a la que alimentan.

**Tabla 2.7.** Líneas de distribución de vapor.

| DISTRIBUIDOR | LÍNEA | CONEXIÓN | UTILIZACIÓN                                                                                     |
|--------------|-------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1            | 1     | ---      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Área de tinturación.</li> </ul>                          |
|              | 2     | 9        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Área de tinturación.</li> <li>Área de secado.</li> </ul> |
|              | 3     | 7        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Área de tinturación</li> </ul>                           |
|              | 4     | 8        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Área de secado.</li> <li>Área de planchado.</li> </ul>   |
|              | 5     | ---      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Preparación de tinta</li> </ul>                          |
| 2            | 6     | ---      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Área de tinturación</li> </ul>                           |
|              | 7     | 3        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Área de tinturación</li> </ul>                           |
|              | 8     | 4        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Área de secado.</li> <li>Área de planchado.</li> </ul>   |
|              | 9     | 2        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Área de tinturación.</li> <li>Área de secado.</li> </ul> |

(Fuente: Autores)

Adicionalmente, en la Figura 2.9 se presentan las interconexiones entre líneas de distribución de vapor que salen de los distribuidores.



**Figura 2.9.** Interconexiones entre líneas de distribución.

(Fuente: Autores)

### 2.1.1.5. Tanques de condensado

La empresa cuenta con dos tanques de condensado como se observa en la Figura 2.10, y las características geométricas se presentan en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8.** Tanques de condensado.

| TANQUE CONDENSADO | ALIMENTACIÓN  | DIÁMETRO [m] | LONGITUD [m] | VOLUMEN [l] |
|-------------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| 1                 | Caldera 1 - 2 | 0,9          | 1,9          | 1200        |
| 2                 | Caldera 3     | 0,9          | 1,9          | 1200        |

(Fuente: Autores)



**Figura 2.10.** Tanque de condensado 1 (izquierda), 2 (derecha)  
(Fuente: Autores)

#### **2.1.1.5.1. Líneas de retorno de condensado.**

Existen seis líneas de retorno, de las cuales cuatro desembocan en el tanque de condensado 1, mientras que las restantes al 2, como se muestra en el diagrama unifilar de líneas de retorno en el Anexo 3B.

#### **2.1.1.6. Equipos de consumo de vapor.**

En el Anexo 1 se presentó un plano de la empresa con sus diferentes áreas, de donde se destacan las siguientes:

- Área de tinturación.
- Área de secado.
- Área de planchado.

En estas áreas el vapor es el recurso principal para llevar a cabo cada uno de los procesos productivos.

##### **2.1.1.6.1. Área de tinturación.**

Para este proceso se cuentan con ocho máquinas tinturadoras, las cuales son:

- 1 máquina marca *BRAZOLLI*.
- 3 máquinas marca *THIES*.
- 2 máquinas marca *ASIA KINGDOM*.

- 1 máquina marca *THEN*.
- 1 máquina marca *MCS ITALY*.

El proyecto también está enfocado en realizar una auditoria energética al sistema de tinturación. Por lo tanto, los datos de funcionamiento y operación serán descritos en el apartado 2.1.2.

#### 2.1.1.6.2. Área de secado.

La empresa posee dos tipos de máquinas secadoras, las cuales son de pared vertical, utilizadas para el secado de telas, y centrifugas, utilizadas para el secado de cuellos. Y son:

- 3 máquinas de secado de pared vertical.
- 1 máquina de secado centrífuga.

Las tres máquinas de secado de pared vertical son iguales y están conformadas por una unidad inyectora de aire, un radiador y la carcasa en donde se lleva a cabo el proceso de secado, como se muestra en la Figura 1.5.

En la Tabla 2.9 se muestran los datos de placa de los radiadores.

**Tabla 2.9.** Datos de placa de los radiadores de las secadoras tipo pared vertical.

|                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| <b>Marca</b>                  | GEA             |
| <b>Modelo</b>                 | 1205-730-2V-ET5 |
| <b>Presión de trabajo</b>     | 9 [bar]         |
| <b>Temperatura de trabajo</b> | 300 [°C]        |
| <b>Volumen</b>                | 28 [Litros]     |

(Fuente: Autores)

La máquina de secado centrífuga es similar a las secadoras convencionales domésticas. Esta es utilizada para el secado de cuellos que son prendas de tela más pequeñas, y no son de fácil secado en las otras máquinas. El funcionamiento consiste en el intercambio de calor en contacto, entre el vapor y los cuellos a través de un tambor de rotación.

En la Tabla 2.10 se muestran los datos de placa de la máquina secadora de tela tipo centrífuga.

**Tabla 2.10.** Datos de placa de máquina secadora centrífuga.

|                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| <b>Marca</b>     | FILIFERRARI                  |
| <b>Modelo</b>    | MEC-351-N5A-LG90L/2P-B5      |
| <b>Capacidad</b> | 2,2 [kW] – 2 Fases – 50 [Hz] |

(Fuente: Autores)

**Tabla 2.11.** Continuación Tabla 2.10.

|                                 |             |
|---------------------------------|-------------|
| <b>Diámetro de tambor</b>       | 948 [mm]    |
| <b>Potencia motor eléctrico</b> | 1 [Hp]      |
| <b>Presión del vapor</b>        | 6 – 9 [bar] |
| <b>Consumo de vapor</b>         | 107 [kg/h]  |
| <b>Volumen de aire</b>          | 1700        |

(Fuente: Autores)

En la Figura 2.11 Se presenta en una fotografía la parte frontal de la máquina centrífuga de secado de cuellos.



**Figura 2.11.** Máquina secadora de cuellos  
(Fuente: Autores)

### 2.1.1.6.3. Área de planchado.

Existen tres máquinas idénticas que son electromecánicas. Funcionan con motores eléctricos y vapor, este último se pierde en el ambiente debido a que no poseen línea de retorno. El planchado se realiza mediante rodillos huecos por donde circula vapor, y rotan mediante la acción de motores eléctricos tal como se muestra en la Figura 1.7.

En la Tabla 2.12 se muestran los datos de placa de una planchadora.

**Tabla 2.12** Datos de placa de máquinas de planchado.

|                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| <b>Marca</b>            | FILLIFERRARI              |
| <b>Modelo</b>           | MEC-0351-N5A-LG-99L/2P-B5 |
| <b>Potencia</b>         | 2.2 [kW]                  |
| <b>Frecuencia</b>       | 50 [Hz]                   |
| <b>Diámetro rodillo</b> | 28 [pulg]                 |

(Fuente: Autores)

### **2.1.1.7. Esquema global del sistema de generación de vapor.**

En la Figura 2.17 se presenta el esquema global del sistema de distribución de vapor con todos los elementos básicos que intervienen en la operación de este, además en el esquema se tiene la siguiente nomenclatura:

- M: Máquinas tinturadoras.
- SR: Secadoras de telas.
- SC: Secadora de cuellos.
- P: Planchadoras de tela.
- Bc: Bomba centrífuga de inyección de agua.
- D: Distribuidor de vapor.
- TP: Tanque de preparación de mezcla tinta.
- 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9: Líneas de distribución de vapor.
- A, B, C, D, E, F: Líneas de retorno de condensado.

Hay que resaltar que el diagrama está enfocado en líneas de distribución de vapor y retorno de condensado, y solo se considera el agua de alimentación a las calderas desde los mezcladores para presentar un diagrama retroalimentado.

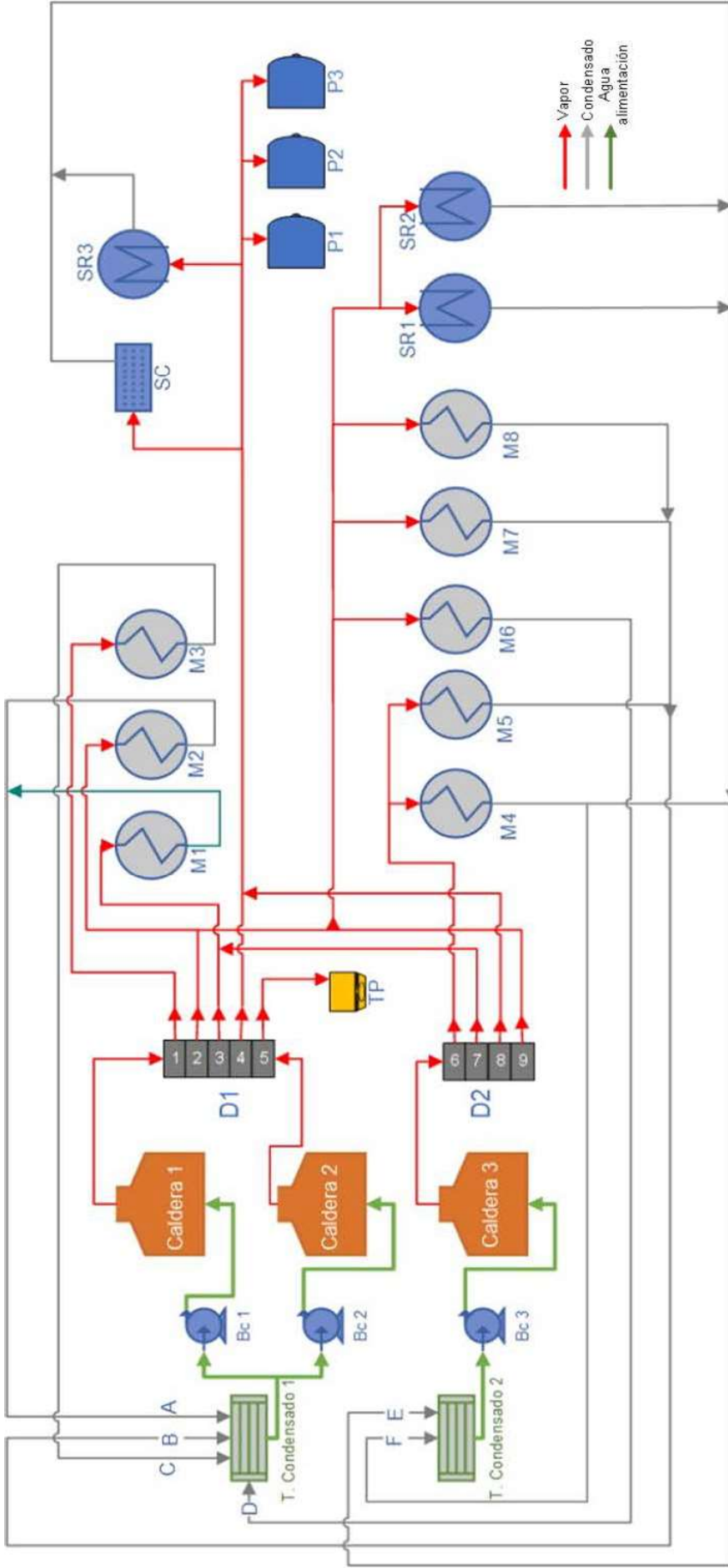


Figura 2.12. Esquema global del sistema de distribución de vapor.  
(Fuente: Autores)



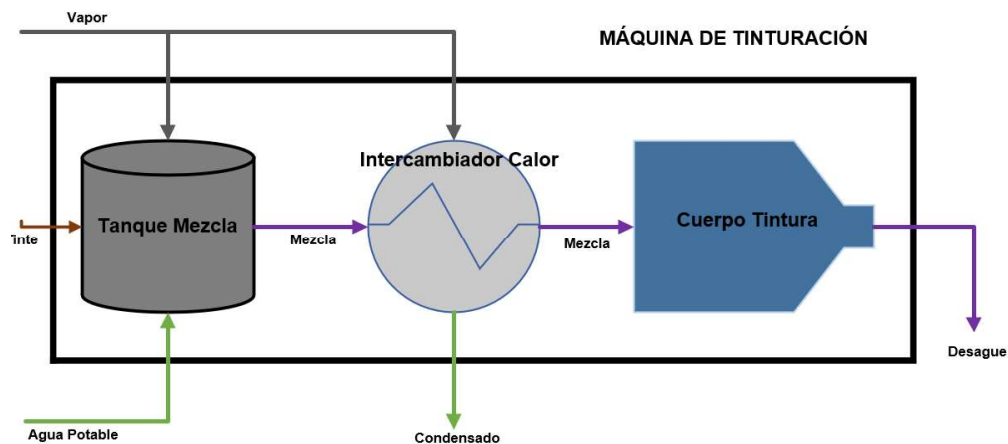
## 2.1.2. Auditoría energética preliminar del sistema de tinturación.

### 2.1.2.1. Descripción general del proceso de tinturación.

Como se muestra en la Figura 2.13, el proceso inicia con la preparación del baño de tinte en el tanque de mezcla, que es un tanque cilíndrico con un serpentín para ingreso de vapor que sirve para calentar la mezcla. En dicho recipiente se mezcla agua, vapor, tintura y sustancias auxiliares de tal manera que se consiga un baño de color uniforme.

A continuación, se eleva la temperatura de la mezcla (baño de tinte más agua) hasta 130 [°C]. Este proceso se lleva a cabo en un intercambiador de calor de tubos y coraza de flujos no mezclados.

Finalmente, el tinturado es la aplicación de la mezcla en la tela. Este proceso se lleva a cabo en el cuerpo de tintura de la máquina.



**Figura 2.13.** Proceso de tinturación.  
(Fuente: Autores)

### 2.1.2.2. Máquinas que conforman el área de tinturación de la empresa.

Está compuesta por ocho máquinas que son de distintas marcas, pero de características similares. Todas las tinturadoras son de altas temperaturas [2], y a continuación se presenta la numeración de estas de acuerdo con el plano de planta de la Figura 2.12.

- Máquina N°1: BRAZZOLI modelo H 3016.
- Máquina N°2: ASIA KINGDOM modelo AK-SL S9L9.
- Máquina N°3: ASIA KINGDOM modelo AK-SL S9L9.
- Máquina N°4: Thies.

- Máquina N°5: Thies.
- Máquina N°6: Thies.
- Máquina N°7: MCS ITALY modelo 13861.
- Máquina N°8: THEN modelo AFS 225.

Desde la Tabla 2.13 hasta la Tabla 2.18 se muestran los datos operación de cada máquina de tinturación, obtenidos de sus placas. Posteriormente se muestran fotografías de las máquinas para una mejor visualización desde la Figura 2.14 hasta la Figura 2.17.

**Tabla 2.13.** Datos operación máquina N°1.

|                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| <b>Marca</b>              | BRAZZOLI.                   |
| <b>Modelo</b>             | H3016                       |
| <b>Tipo</b>               | <i>Innoflow EXL HT2 XC2</i> |
| <b>Temperatura</b>        | 140 [°C]                    |
| <b>Presión</b>            | 2,6 [bar]                   |
| <b>Volumen</b>            | 12050 [l]                   |
| <b>Año de fabricación</b> | 2008                        |

(Fuente: Autores)

**Tabla 2.14.** Datos de operación de las máquinas N° 2 y N° 3.

|                                     |                                                                        |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| <b>Marca</b>                        | <i>Asia Kingdom Machinery industry CO., LTD.</i>                       |
| <b>Modelo</b>                       | AK-SL S9L9                                                             |
| <b>Tipo</b>                         | <i>Dual Flow dyeing machine 500 high temperature softflow/overflow</i> |
| <b>Capacidad</b>                    | 500 [kg]                                                               |
| <b>Presión – Tanque</b>             | 6 [MPa]                                                                |
| <b>Presión – Intercambiador</b>     | 10 [MPa]                                                               |
| <b>Temperatura - Tanque</b>         | 130 [°C]                                                               |
| <b>Temperatura - Intercambiador</b> | 180 [°C]                                                               |
| <b>Año de fabricación</b>           | 1999                                                                   |

(Fuente: Autores)

**Tabla 2.15.** Datos de operación de las máquinas N° 4, N° 5 y N° 6.

|               |                              |
|---------------|------------------------------|
| <b>Marca</b>  | <i>Thies Textile Machine</i> |
| <b>Modelo</b> | 56253                        |

(Fuente: Autores)

**Tabla 2.16.** Continuación Tabla 2.15.

|                                        |                                     |
|----------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Tipo</b>                            | Warmetauscher D/K 2.5m <sup>2</sup> |
| <b>Presión Tanque</b>                  | 0,6 – 0,8 [MPa]                     |
| <b>Presión Intercambiador</b>          | 0,1 – 0,3 [MPa]                     |
| <b>Temperatura de servicio min/mas</b> | 140 – 170 [°C]                      |
| <b>Volumen</b>                         | 12000 [l]                           |
| <b>Año de fabricación</b>              | 2009                                |

(Fuente: Autores)

**Tabla 2.17.** Datos de operación máquina N° 7.

|                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| <b>Marca</b>              | MCS dyeing and finishing, Italy |
| <b>Modelo</b>             | 13861                           |
| <b>Tipo</b>               | Multiflow                       |
| <b>Presión</b>            | 2,76 [bar]                      |
| <b>Temperatura</b>        | 141 [°C]                        |
| <b>Año de fabricación</b> | 2001                            |

(Fuente: Autores)

**Tabla 2.18.** Datos de operación máquina N° 8.

|                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| <b>Marca</b>              | THEN                     |
| <b>Modelo</b>             | 78497                    |
| <b>Tipo</b>               | AFS 225 – <i>Ecoflow</i> |
| <b>Presión</b>            | 3 [Bar]                  |
| <b>Volumen</b>            | 7750 [Gal]               |
| <b>Temperatura</b>        | 150 [°C]                 |
| <b>Año de fabricación</b> | 1999                     |

(Fuente: Autores)

Se observa que la presión promedio de diseño de las máquinas tinturadoras es de alrededor de 3 [bar] y la temperatura de diseño es de alrededor de 160 [°C].



**Figura 2.14.** Máquina de tinturación N° 1 BRAZZOLI.  
(Fuente: Autores)



**Figura 2.15.** Máquina de tinturación N° 2 AKM.  
(Fuente: Autores)



**Figura 2.16.** Máquina de tinturación N° 4 THIES.  
(Fuente: Autores)



**Figura 2.17.** Máquina de tinturación Nº 8. THEN.  
(Fuente: Autores)

### **2.1.2.3. Equipos que componen las máquinas de tinturación.**

Como se muestra en la Figura 2.13, los siguientes equipos conforman una máquina de tinturación, y son:

- Tanque de mezclado.
  - Suministro de agua.
  - Suministro de vapor.
  - Suministro de tinta y sustancias auxiliares.
- Intercambiador de calor.
  - Suministro de mezcla.
  - Suministro de vapor.
  - Reguladores de presión.
  - Trampas de vapor.
  - Filtro de vapor.
- Cuerpo o tanque de tinturación.
- Tanque de filtro

### **2.1.2.4. Tanque de mezclado.**

Es donde se lleva a cabo el proceso de mezcla para la obtención del baño de tinte mediante la combinación de agua, vapor, sustancias auxiliares y tintes en polvo, que darán como resultado una solución concentrada del color. El tanque de mezclado, es un recipiente cilíndrico compuesto de varias tuberías perforadas a su alrededor (alimentación

de agua caliente) y por dentro (alimentación de vapor), además cuenta con una pequeña bomba centrífuga encargada de generar un efecto de mezclado de tipo vórtice.

En la Figura 2.18 se muestra la bomba centrífuga de mezcla, es importante destacar que las ocho máquinas de tinturación utilizan las mismas bombas para esta operación.



**Figura 2.18.** Bomba de recirculación de la mezcla en el tanque de mezclado. (Izquierda THIES derecha AKM).  
(Fuente: Autores)

El tanque cuenta con un sensor de nivel encargado de suministrar el baño de tinte hacia la tubería de impulsión de la mezcla (baño de tinte y agua).

En la Figura 2.19 se muestra el tanque de mezclado de la máquina de tinturación AKM, además de sus elementos correspondientes.



**Figura 2.19.** Tanque de mezclado de una máquina de tinturación.  
(Fuente: Autores)

Finalmente, en el fondo del tanque, existe un filtro de tipo rejilla, el cual es encargado de retener impurezas de gran tamaño encontradas en las sustancias auxiliares y químicos.



#### **2.1.2.4.1. Suministro de agua.**

Dentro de la empresa existe una cisterna de agua caliente, que recoge el agua procedente de los intercambiadores de calor de cada máquina cuando estos se encuentran en etapa de enfriamiento, como se observa en la Figura 2.20. El agua utilizada para el mezclado es proveniente de dicha cisterna y llega hacia los tanques de mezclado mediante bombas centrifugas.



**Figura 2.20.** Suministro de agua caliente. A: Cisterna, B: Bomba, C: Líneas de recolección.  
(Fuente: Autores)

#### **2.1.2.4.2. Suministro de vapor al tanque de mezclado.**

El vapor es suministrado por las líneas de distribución que fueron descritas en el apartado 2.1.1.4.1.

#### **2.1.2.4.3. Suministro de tinta y sustancias auxiliares al tanque de mezclado.**

La tinta y sustancias auxiliares se encuentran en presentación de polvo químico o líquido, y son suministradas mediante el personal operativo de la planta. Donde en recipientes con escala en litros colocan el volumen necesario para obtener un correcto baño de tinte.

#### **2.1.2.5. Intercambiadores de calor.**

Son los encargados de transferir calor desde el vapor hacia la mezcla de tintura, y son de tubos y corazas, además que se encuentran trabajando en contraflujo. La única diferencia entre los intercambiadores de cada máquina son sus dimensiones y su disposición geométrica. En la Tabla 2.19 se muestran los valores de las geometrías de los intercambiadores de calor.

**Tabla 2.19.** Datos geométricos de intercambiadores de calor.

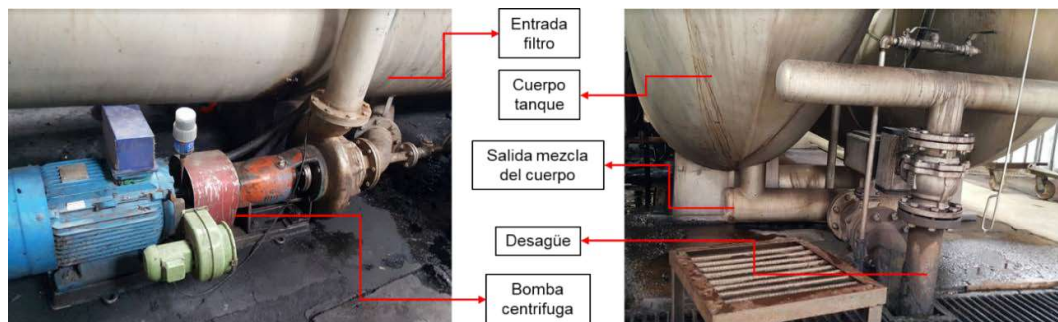
| Máquina   | Longitud [m] | Diámetro [m] | Disposición geométrica |
|-----------|--------------|--------------|------------------------|
| Brazzoli  | 1,5          | 0,32         | Vertical               |
| AKM       | 2,2          | 0,30         | Horizontal             |
| AKM       | 2,2          | 0,30         | Horizontal             |
| Thies     | 3,2          | 0,16         | Vertical               |
| Thies     | 3,2          | 0,16         | Vertical               |
| Thies     | 3,2          | 0,16         | Vertical               |
| MSC Italy | 3,5          | 0,20         | Vertical               |
| Then      | 3,5          | 0,20         | Vertical               |

(Fuente: Autores)

#### 2.1.2.5.1. Suministro de mezcla.

La mezcla se suministra desde el tanque de mezclado, una vez que el baño de tinte es uniforme y se ha combinado con el agua, mediante una bomba centrífuga en la entrada del filtro que se encuentra previo al intercambiador.

En la Figura 2.21 se muestra la bomba centrífuga de inyección de mezcla al intercambiador de calor así como algunos elementos adicionales.



**Figura 2.21.** Bomba centrífuga de inyección de tinte al intercambiador (AKM).  
(Fuente: Autores)

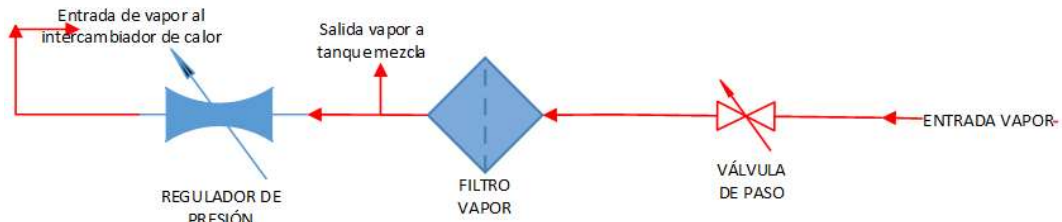
#### 2.1.2.5.2. Suministro de vapor al intercambiador de calor.

El vapor se suministra desde los distribuidores y para la correcta alimentación del mismo se posee tres componentes que aseguran el caudal de entrada, su presión y su calidad:

- Válvula de paso.
- Filtro de vapor.
- Regulador de presión.



En la Figura 2.22 se muestra el ingreso de vapor a cada uno de los intercambiadores, además se indica la bifurcación después del filtro, para alimentar el tanque de mezclado.



**Figura 2.22.** Esquema de entrada de vapor al intercambiador de calor.  
(Fuente: Autores)

### 2.1.2.5.3. Reguladores de presión.

Los reguladores de presión de las máquinas de tinturación de la empresa son neumáticos y funcionan con aire comprimido.

Dependiendo de la posición del regulador se tiene: en posición horizontal reguladores de presión marca BURKERT, y para posición vertical, se cuenta con reguladores marca SLELLDRUCK.

En la Tabla 2.20 y Tabla 2.21, se muestran las especificaciones de cada regulador de presión. Adicionalmente en Figura 2.23 y Figura 2.24 se muestran los reguladores de presión.

**Tabla 2.20.** Especificaciones regulador de presión Burkert.

| Controlador presión maquinas AKM. |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| <b>Tipo</b>                       | Controlador de presión |
| <b>Marca:</b>                     | BURKERT                |
| <b>Conexión:</b>                  | DN 65                  |
| <b>Presión Nominal:</b>           | 16 [bar]               |

(Fuente: Autores)

**Tabla 2.21.** Especificaciones regulador de presión Slelldruck.

| Controlador de presión Resto Máquinas |                        |
|---------------------------------------|------------------------|
| <b>Tipo</b>                           | Controlador de presión |
| <b>Marca:</b>                         | SLELLDRUCK             |
| <b>Conexión:</b>                      | 20 mm                  |
| <b>Presión mínima</b>                 | 2,7 [bar]              |
| <b>Presión Máxima</b>                 | 6 [bar]                |
| <b>Número de serie</b>                | SN 0825697223          |

(Fuente: Autores)



**Figura 2.23.** Regulador de presión Burkert.  
(Fuente: Autores)



**Figura 2.24.** Regulador de presión Sleildruck.  
(Fuente: Autores)

#### **2.1.2.5.4. Trampas de vapor.**

A la salida de cada uno de los intercambiadores de calor se encuentra una trampa para retener vapor y permitir solo el paso de fluido líquido con presencia de una mínima calidad (Condensado). En la Tabla 2.22 se muestran las especificaciones de cada trampa de vapor.

**Tabla 2.22.** Especificaciones de trampas de vapor de cada intercambiador de calor.

| Trampa | Equipo    | Marca        | Conexión  | Modelo | Tipo            | Presión    |
|--------|-----------|--------------|-----------|--------|-----------------|------------|
| Nº 1   | Brazzoli  | Amstrong     | ½ [plg]   | B1     | Flotador        | 175 [psig] |
| Nº 2   | AKM       | Amstrong     | ¾ [plg]   | XS-814 | Balde Invertido | 250 [psig] |
| Nº 3   | AKM       | Amstrong     | ¾ [plg]   | 814    | Balde Invertido | 250 [psig] |
| Nº 4   | Thies     | Nicoson      | 1 ¼ [plg] | B4     | Balde Invertido | 256 [psig] |
| Nº 5   | Thies     | Nicoson      | 1 ¼ [plg] | B4     | Balde Invertido | 256 [psig] |
| Nº 6   | Thies     | Nicoson      | 1 ¼ [plg] | B4     | Balde Invertido | 256 [psig] |
| Nº 7   | MCS Italy | Nicoson      | ½ [plg]   | PN18   | Balde Invertido | 256 [psig] |
| Nº 8   | Then      | Spirax-Sarco | 1 ½ [plg] | FT 14  | Flotador        | 200 [psig] |

(Fuente: Autores)

En la Figura 2.25 se muestra un ejemplo de una trampa de vapor del tipo flotador y otra de balde invertido.



**Figura 2.25.** Trampas de vapor: a) Trampa de vapor tipo flotador, b) Trampa de vapor tipo balde invertido.

(Fuente: Autores)

#### 2.1.2.5.5. Filtro de vapor.

Es un elemento que se encuentra en la tubería de alimentación de vapor propia de cada máquina, y su función es retener impurezas que pueden generar incrustaciones, óxidos o sedimentos, además de reducir la presión en caudales elevados [17]. En la Figura 2.26 se muestra el filtro de vapor de la máquina N°2 de tinturación AKM.

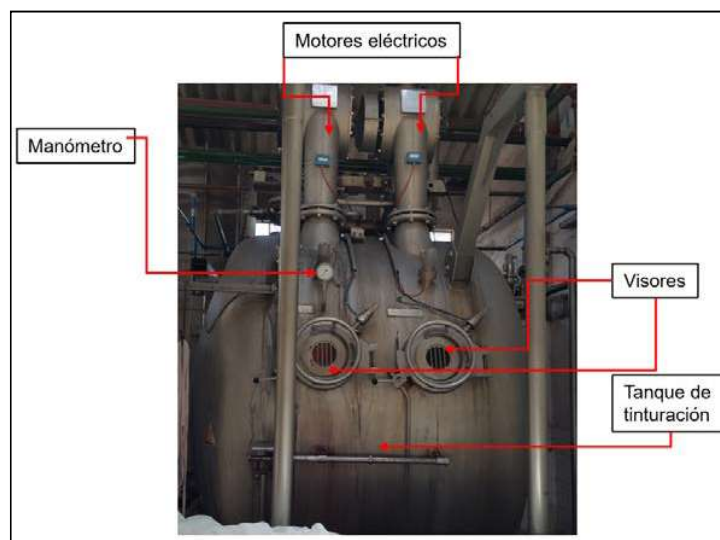


**Figura 2.26.** Filtro de vapor.  
(Fuente: Autores)

#### 2.1.2.6. Cuerpo o tanque de tinturación.

Es el lugar donde entra en contacto la tela con la mezcla, y es un recipiente fabricado de acero resistente a la corrosión que soporta temperaturas de trabajo. Adicionalmente, cuenta con dos motores eléctricos encargados de realizar el movimiento de la tela en su interior. La mezcla es suministrada desde el intercambiador de calor mediante una tubería que ingresa al cuerpo.

En la Figura 2.27 y Figura 2.28 se muestra el cuerpo de tinturación de la máquina Thies y AKM respectivamente, con algunos elementos adicionales.



**Figura 2.27.** Cuerpo de tinturación de máquina THIES.  
(Fuente: Autores)



**Figura 2.28.** Cuerpo de tinturación de máquina AKM.  
(Fuente: Autores)

Para todas las máquinas de tinturación, el tejido o tela es ingresado a través de las tapas con visores, que son compuertas y cierran herméticamente.

#### **2.1.2.7. Tanque de filtro.**

Es un elemento encargado de reducir la pelusa generada de los rollos de tela debido a la alta velocidad de la mezcla. Adicionalmente, la pelusa desprendida genera un inconveniente debido a que esta absorberá el tinte de la misma, e impedirá un teñido uniforme.

El tanque de filtro se encuentra a la entrada del intercambiador para todas las máquinas de tinturación, y dicha disposición se realiza para que toda la mezcla circule a través del filtro.

En la Figura 2.29 se muestra el filtro extraído de la máquina AKM.



**Figura 2.29.** Filtro máquina AKM.  
(Fuente: Autores)

### 2.1.2.8. Inspección de trampas de vapor en la empresa.

Por cuestiones económicas y logísticas se realiza la inspección de las trampas de vapor mediante el método visual.

La inspección visual consiste en observar la descarga de cada trampa hacia la atmósfera y si está es vapor revaporizado (solo vapor) se tendrá un correcto funcionamiento, mientras que si es vapor vivo (vapor más agua) la trampa fallará en posición abierta como se muestra en la Figura 2.30.



**Figura 2.30.** Tipo de vapor en trampas: a) Trampa operando con normalidad, b) Trampa defectuosa.

Fuente: [2]

En la Tabla 2.23 se presentan los resultados de la inspección visual de las trampas de vapor incorporadas a la salida de las máquinas de tinturación.

**Tabla 2.23.** Inspección visual de trampas de vapor.

| Trampa | Equipo    | Temperatura Superficial [°C] | Descarga     | Observaciones             | Estado   |
|--------|-----------|------------------------------|--------------|---------------------------|----------|
| Nº 1   | Brazzoli  | 92,0                         | Revaporizado | Sin fugas.                | Correcto |
| Nº 2   | AKM       | 93,5                         | Revaporizado | Trampa oxidada sin fugas. | Correcto |
| Nº 3   | AKM       | 96,0                         | Revaporizado | Trampa oxidada sin fugas. | Correcto |
| Nº 4   | Thies     | 94,8                         | Revaporizado | Sin fugas.                | Correcto |
| Nº 5   | Thies     | 95,1                         | Revaporizado | Trampa oxidada sin fugas. | Correcto |
| Nº 6   | Thies     | 92,2                         | Revaporizado | Sin fugas.                | Correcto |
| Nº 7   | MCS Italy | 96,7                         | Revaporizado | Trampa oxidada sin fugas  | Correcto |
| Nº 8   | Then      | 90,8                         | Revaporizado | Sin fugas.                | Correcto |

(Fuente: Autores)

## 2.2. Metodología para auditoría energética detallada

En esta etapa se determina los siguientes parámetros:

- Pérdidas de calor.

- Eficiencia térmica de las calderas.
- Efectividad de los intercambiadores de calor.
- Costo generación de vapor.

### **2.2.1. Determinación de pérdidas de calor en las superficies de los sistemas**

Las pérdidas que se encuentran en las superficies de los distintos componentes son:

- Pérdidas de calor en calderas
- Pérdidas de calor en distribuidores de vapor.
- Pérdidas de calor en tanques de condensado.
- Pérdidas de calor en intercambiadores de calor.
- Pérdidas de calor en líneas de distribución.
- Pérdidas de calor en líneas de retorno de condensado

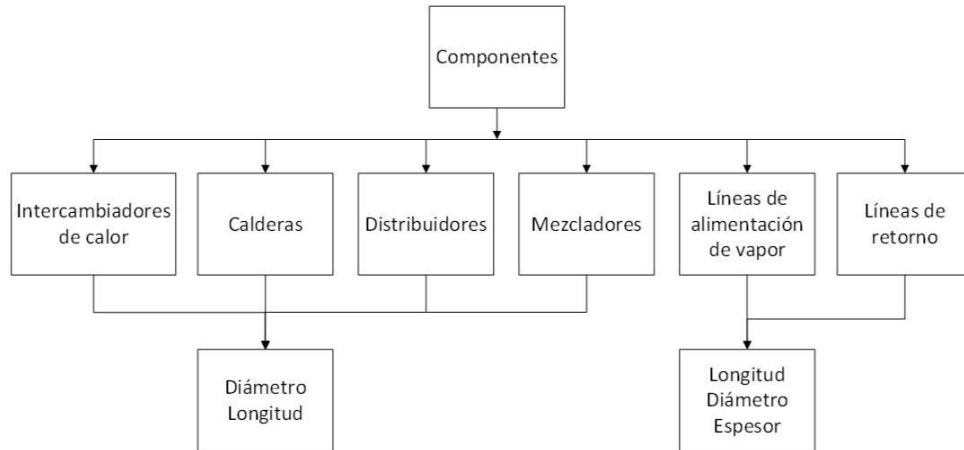
Para determinar estas pérdidas se requieren de los siguientes parámetros:

- Geometría de los componentes.
- Temperatura superficial y ambiental.
- Coeficiente de radiación.
- Coeficiente de convección.
- Flujo de calor.

#### **2.2.1.1. Geometría de los componentes**

La medición de diámetros y longitudes fueron realizadas mediante cinta métrica y flexómetro respectivamente. Mientras que las mediciones de espesores fueron realizadas mediante calibrador.

Las medidas geométricas de cada uno de los componentes se muestran en la Figura 2.31.

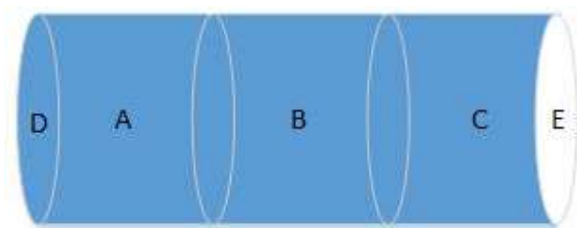


**Figura 2.31.** Dimensiones medidas en cada componente.  
(Fuente: Autores)

### 2.2.1.2. Medición de temperatura superficial y ambiental

Mediante un pirómetro óptico se realizan varias mediciones de las temperaturas superficiales alrededor de los distintos componentes.

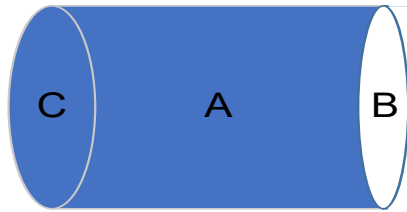
Para las calderas se mide la temperatura en cada una de sus tres secciones como se muestra en la Figura 2.32 (quemador, intercambiador, chimenea). Además, se toman en cuenta las secciones de las tapas frontal y posterior.



**Figura 2.32.** Secciones de calderas. (A, D: Chimenea; B: Intercambiador; C, E: Quemador)  
(Fuente: Autores)

Para los distribuidores de vapor y los tanques de condensado se mide la temperatura en sus tres secciones (dos tapas y el cuerpo cilíndrico) como se muestra en la Figura 2.33.





**Figura 2.33.** Secciones distribuidores y tanques de condensado (A: Cuerpo; B Tapa posterior; C: Tapa frontal)  
(Fuente: Autores)

Para las líneas de distribución y retorno de condensado se mide la temperatura superficial en cada uno de sus tramos. En el Anexo 3 se presentan los diagramas unifilares para las líneas de distribución de vapor (ANEXO 3A) y de retorno de condensado (ANEXO 3B).

La temperatura ambiente es medida mediante una termocupla tipo k en cada una de las áreas en donde se encuentran los componentes de los sistemas, es importante recalcar que se realizan varias mediciones para obtener una medida promedio y evitar errores porcentuales.

### 2.2.1.3. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación

Para determinar este coeficiente se usa la siguiente ecuación:

$$h_r = \varepsilon * \sigma * \frac{(T_s^4 - T_{alr}^4)}{(T_s - T_{alr})} \quad (\text{Ec. 2.1.})$$

Donde:

$h_r$ : Coeficiente de transferencia de calor por radiación, [W/m<sup>2</sup> K].

$\varepsilon$ : Emisividad radioactiva del cuerpo.

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzmann= 5,67\*10<sup>-8</sup> , [W/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>][10].

$T_s$ : Temperatura superficial, [K].

$T_{alr}$ : Temperatura de los alrededores, [K].

La emisividad del cuerpo es obtenida de la tabla de emisividades de las superficies del libro de transferencia de calor y masa de Cengel, cuarta edición [10]. Todos los componentes son de acero inoxidable y debido a que algunos se encuentran oxidados y recubiertos con pintura se toma la emisividad de 0,8 [10].

#### 2.2.1.4. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección

Para determinar este coeficiente se usan las siguientes ecuaciones:

$$T_p = \frac{T_s + T_\infty}{2} \quad (\text{Ec. 2.2.})$$

$$Ral = \frac{D^3 * g * \beta * (T_s - T_\infty)}{\nu^2} * Pr$$

$$Nul = B * (Ral)^e \quad (\text{Ec. 2.3.})$$

$$\beta = \frac{1}{T_p} \quad (\text{Ec. 2.4.})$$

$$h_c = \frac{Nul * k}{D} \quad (\text{Ec. 2.5.})$$

$$(\text{Ec. 2.6.})$$

Donde:

$T_s$ : Temperatura superficial de la caldera, [°C].

$T_p$ : Temperatura de la película a la cual se evalúan las propiedades del fluido, [°C].

$T_\infty$ : Temperatura ambiente, [°C].

$D$ : Longitud característica, [m].

$g$ : Aceleración de la gravedad, 9,81 [m/s<sup>2</sup>].

$\beta$ : Coeficiente de expansión volumétrica, [1/K].

$\nu$ : Viscosidad cinemática, [m<sup>2</sup>/s].

$Ral$ : Número de Rayleigh, [ ].

$Pr$ : Número de Prandtl, [ ].

$Nul$ : Número de Nusselt, [ ].

$B$ : Correlación de McAdams, [ ].

$e$ : Correlación de McAdams. [ ]

$k$ : Conductividad térmica de fluido, [W/m<sup>2</sup>\*K].

$h_c$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección, [W/m<sup>2</sup>\*K].

Las propiedades del fluido (aire) son obtenidas mediante la Tabla A-15. Propiedades del aire a la presión de 1 atm del libro de transferencia de calor y masa de Cengel, cuarta edición [10].

### 2.2.1.5. Cálculo del Flujo de calor

Para determinar el flujo de calor de pérdidas se considera el calor transferido por convección y radiación, por lo que se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$h_{rc} = h_r + h_c \quad (\text{Ec. 2.7.})$$

$$q_{cr} = h_{rc} * A_s * (T_s - T_{\infty}) \quad (\text{Ec. 2.8.})$$

Donde:

$h_{rc}$ : Coeficiente de transferencia de calor combinado, [W/m<sup>2</sup>. K].

$A_s$ : Área superficial de la caldera, [m<sup>2</sup>].

$q_{cr}$ : Flujo de calor por convección y radiación, [W].

### 2.2.2. Cálculo de pérdidas de calor por fugas de vapor

Son pérdidas sensibles y críticas, debido a la complejidad en la cuantificación de estas, existen varios métodos para determinarlas. Para nuestro estudio se utiliza el método de aproximación de diámetro de fuga [18].

Para determinar esta pérdida se usan las siguientes ecuaciones:

$$\dot{m}_{v_{fuga}} = 0,695 * \frac{\pi}{4} * D_{fuga}^2 * P_{dist} \quad (\text{Ec. 2.9.})$$

$$q_{fuga} = \dot{m}_{v_{fuga}} * h@P_{dist} \quad (\text{Ec. 2.10.})$$

Donde:

$\dot{m}_{v_{fuga}}$ : Flujo másico de vapor por la fuga, [kg/h].

$D_{fuga}$ : Diámetro de fuga, [mm].

$P_{dist}$ : Presión media en el distribuidor de vapor, [bar].

$h@P_{dist}$ : Entalpía del vapor a la presión del distribuidor, [kJ/kg].

Hay que tener en cuenta que para determinar esta pérdida, el diámetro de fuga es aproximado mediante inspección visual. La entalpía del vapor es obtenida de tabla A-5 de presiones de agua saturada del libro de termodinámica de Cengel, séptima edición [19].

### 2.2.3. Determinación de la eficiencia térmica de las calderas

Es obtenida mediante dos métodos: directo e indirecto. Dichos métodos evalúan parámetros diferentes para llegar a un mismo resultado.

#### 2.2.3.1. Eficiencia de las calderas por método directo

Es un método termodinámico que consiste en la relación de la energía producida sobre la energía entregada a la caldera. Es una razón matemática entre el flujo de calor del vapor, generado por evaporación de agua, y el calor entregado por el combustible (bunker). Las ecuaciones para determinar la eficiencia son las siguientes:

$$\eta_c = \frac{q_{vc}}{q_{cc}} * 100 \quad (\text{Ec. 2.11.})$$

$$q_{vc} = \dot{m}_{H_2O} * (h_v - h_{H_2O}) * t f_a \quad (\text{Ec. 2.12.})$$

$$q_{cc} = \dot{m}_{com} * PCI * t f_c \quad (\text{Ec. 2.13.})$$

Donde:

$\eta_c$ : Eficiencia de la caldera, [%].

$q_{vc}$ : Calor contenido en el vapor, [kW].

$q_{cc}$ : Calor producido por el combustible, [kW].

$\dot{m}_{H_2O}$ : Flujo másico de agua, [kg/s].

$\dot{m}_{com}$ : Flujo másico de combustible, [kg/s].

$PCI$ : Poder calorífico inferior del combustible, [MJ/kg].

$h_v$ : Entalpía del vapor a la salida de la caldera, [kJ/kg].

$h_{H_2O}$ : Entalpía del agua de alimentación a la entrada de la caldera, [kJ/kg].

$tf_a$ : Factor de corrección de tiempo del agua de alimentación, [ ].

$tf_c$ : Factor de corrección de tiempo del combustible, [ ].

### 2.2.3.1.1. Determinación del flujo másico de combustible

Los pasos son los siguientes:

1. Apagar la bomba de alimentación del tanque subterráneo de combustible hacia los tanques de alimentación, debido a que la medición no requiere de un nivel constante en estos.
2. Medir la variación de alturas mediante una varilla de 2 metros, en lapsos de tiempo de 10 minutos hasta completar la hora, tiempo en que los tanques quedan vacíos.
3. Determinar la densidad del bunker mediante un recipiente de 2 litros el cual es pesado en una balanza digital por 5 ocasiones para obtener un valor promedio.
4. Calcular el caudal de bunker mediante el promedio de datos medidos de variación de altura, tiempo y diámetro del tanque.
5. Calcular el flujo másico de combustible con los datos previamente obtenidos de caudal y densidad del bunker.

Las ecuaciones para determinar los valores requeridos son las siguientes:

$$\rho_{bunker} = \frac{m_{bunker}}{V_{bunker}} \quad (\text{Ec. 2.14.})$$

$$Q_{bunker} = \frac{\pi * D_t * \Delta H}{4 * t} \quad (\text{Ec. 2.15.})$$

$$\dot{m}_{bunker} = Q_{bunker} * \rho_{bunker} \quad (\text{Ec. 2.16.})$$

Donde:

$\rho_{bunker}$ : Densidad del bunker, [kg/m<sup>3</sup>].

$m_{bunker}$ : Masa del bunker en el recipiente, [kg].

$V_{bunker}$ : Volumen del recipiente de bunker, [cm<sup>3</sup>].

$Q_{bunker}$ : Caudal de bunker, [ $\text{cm}^3/\text{s}$ ].

$D_t$ : Diámetro del tanque de combustible, [cm].

$\Delta H$ : Variación de alturas en el tanque de combustible, [cm].

$t$ : Tiempo determinado en cada variación de alturas, [min].

$\dot{m}_{bunker}$ : Flujo másico de bunker, [kg/s].

### **2.2.3.1.2. Determinación del flujo másico de agua de alimentación**

Es obtenido mediante la potencia eléctrica de las bombas de alimentación de agua. Se intentó determinar el flujo másico de manera experimental mediante un recipiente y cronómetro, pero se obtuvieron valores erróneos, debido a que la instalación de arreglos de tuberías para poder realizar esta medida generaba una variación de presión, provocando una presión distinta a la de la caldera. Este problema fue demostrado y se explica de forma detallada en el Anexo 4.

Los pasos son los siguientes:

1. Medir los datos de intensidad de corriente, voltaje y revoluciones por minuto, mediante un multímetro y un tacómetro cada vez que la bomba se enciende, esto se realiza en promedio de 5 veces.
2. Calcular la potencia eléctrica mediante los valores de corriente y voltaje. Tomando en cuenta el factor de potencia de la placa en cada bomba, el cual mediante un vatímetro es validado (Anexo 5).
3. Calcular la potencia de la bomba mediante la potencia eléctrica previamente calculada y el rendimiento de la bomba hallado en su placa.
4. Obtener la presión manométrica de las bombas mediante los manómetros de cada caldera.
5. Medir la temperatura de entrada de agua a las calderas, mediante una termocupla tipo K.
6. Determinar el volumen específico del agua a la temperatura medida mediante la tabla A-4 de temperaturas de agua saturada del libro de termodinámica de Cengel, séptima edición [19].
7. Determinar el flujo másico de agua de alimentación mediante la ecuación de potencia de bombeo.

Las ecuaciones para determinar los valores requeridos son las siguientes:

$$Pot_{elec} = \sqrt{3} * V_l * I_l * \cos\phi \text{ (motor trifásico)} \quad (\text{Ec. 2.17.})$$

$$Pot_{bomba} = Pot_{elec} * \eta_{bomba} \quad (\text{Ec. 2.18.})$$

$$\dot{m}_{H_2O} = \frac{Pot_{bomba}}{v * \Delta P} \quad (\text{Ec. 2.19.})$$

Donde:

$Pot_{elec}$ : Potencia eléctrica, [W].

$V_l$ : Voltaje del motor eléctrico, [V].

$I_l$ : Intensidad de corriente del motor eléctrico, [A].

$\cos\phi$ : Factor de potencia, [ ].

$Pot_{bomba}$ : Potencia de bombeo, [W].

$\eta_{bomba}$ : Rendimiento de la bomba, [%].

$\dot{m}_{H_2O}$ : Flujo másico de agua de alimentación en cada caldera, [kg/s].

$v$ : Volumen específico a la temperatura del agua de alimentación, [m<sup>3</sup>/kg].

$\Delta P$ : Variación de presiones entre la absoluta y la atmosférica, (manométrica), [kPa].

### **2.2.3.1.3. Determinación de la entalpía del vapor de salida y del agua de alimentación**

Estos valores son obtenidos en tablas termodinámicas mediante datos medidos de forma experimental como la presión y temperatura.

Los pasos para determinar estos valores son los siguientes:

1. Observar la presión de trabajo en los manómetros de cada caldera.
2. Determinar la presión local del lugar, mediante la ayuda de portales del clima que dan un valor exacto de la presión atmosférica en el lugar donde se encuentran las calderas.
3. Obtener la presión absoluta en cada caldera.

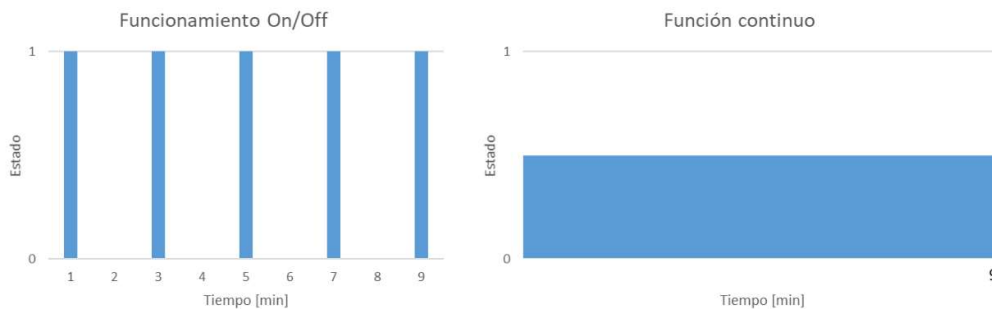
4. Determinar la entalpía del vapor a la presión absoluta, mediante la tabla A-5 de presiones de agua saturada del libro de Termodinámica de Cengel, séptima edición [19].
5. Medir la temperatura del agua de alimentación en cada caldera mediante una termocupla tipo K.
6. Determinar la entalpía del agua mediante la tabla A-4 de temperaturas de agua saturada del libro de Termodinámica de Cengel, séptima edición [19].

#### 2.2.3.1.4. Obtención del poder calorífico del bunker

La cantidad de energía disponible por unidad de masa de combustible durante la combustión, es el poder calorífico y dependiendo de la combustión se distinguen el superior o inferior [10]. El poder calorífico inferior se utiliza en aplicaciones de generación de energía en las cuales el agua (fluido de trabajo) cambia totalmente de estado (líquido a vapor). El calor latente generado por el cambio de estado del agua y contenido en el combustible, se transfiere al fluido de trabajo y no se recupera [19]. Este valor se obtuvo del informe 2013 “Factor de emisión de CO<sub>2</sub> del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador” publicado por el Ministerio del Ambiente en conjunto con el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables [20], el cual indica que el PCI del bunker es de 39700[kJ/kg].

#### 2.2.3.1.5. Determinación del factor de corrección de tiempo para el combustible y el agua de alimentación

Es un factor que relaciona el estado de encendido y apagado de las bombas, con un estado de operación continua como se observa en la Figura 2.34.



**Figura 2.34.** Comparación de tiempos de operación de bombas.  
(Fuente: Autores)



La inyección de combustible hacia la caldera es de manera continua mediante una regulación modular, es decir, no hay corte de inyección de combustible en las 20 horas de trabajo. Sin embargo, la inyección de agua de alimentación no es constante, debido a un control de encendido y apagado automático que depende del nivel de agua de la caldera.

Debido que la inyección de combustible es mediante un control modular, el factor de corrección de tiempo del combustible es 1. La inyección de agua de alimentación requiere de un factor de tiempo de corrección el cual es obtenido con los siguientes pasos:

1. Se considera un análisis a una muestra de tiempo de 2,5 horas debido a que en ese tiempo aproximadamente se consume el combustible en los tanques de cada caldera.
2. Medir tiempos de encendido de cada una de las bombas mediante un cronómetro.
3. Medir tiempos de apagado de cada una de las bombas mediante un cronómetro.
4. Determinar el factor de corrección de tiempo mediante una expresión matemática que relacione el tiempo de trabajo de las bombas y el tiempo total de encendido de las calderas.

La expresión matemática es la siguiente:

$$tf_a = \frac{\sum t_{encendido}}{\sum t_{encendido} + \sum t_{apagado}} \quad (\text{Ec. 2.20.})$$

Donde:

$tf_a$ : Factor de tiempo de corrección de la inyección de agua alimentación, [ ].

$\sum t_{encendido}$ : Sumatoria de todos los tiempos de encendido de las bombas, [s].

$\sum t_{apagado}$ : Sumatoria de todos los tiempos de apagado de las bombas, [s].

### **2.2.3.2. Eficiencia de las calderas por método indirecto**

Es también llamado método de pérdidas y es el más utilizado y sugerido por manuales de mantenimiento debido a que se enfoca en el cálculo de pérdidas energéticas [5].

Este método es más fácil de ejecutar debido a que se encuentra normalizado por la DIN EN 303-5, [21] que presenta ecuaciones específicas para determinar las pérdidas que se puedan encontrar. Para poder realizar el análisis de eficiencia mediante este método, las calderas deben ser de potencia mayor a 500 [kW].

En la Tabla 2.24 se muestra la potencia de cada una de las calderas y se observa que cumple con el alcance de aplicación del método.

**Tabla 2.24.** Potencia de las calderas

|           | Potencia [BPH] | Potencia [kW] |
|-----------|----------------|---------------|
| Caldera 1 | 250            | <b>2452,7</b> |
| Caldera 2 | 375            | <b>3679,2</b> |
| Caldera 3 | 250            | <b>2452,7</b> |

(Fuente: Autores)

La expresión matemática para determinar la eficiencia de la caldera se muestra en la Ec. 2.21.

$$\eta_c = 100 - \sum (Pq_{perdidas}) \quad (\text{Ec. 2.21.})$$

$$\eta_c = 100 - Pq_a - Pq_b - Pq_{cr} - Pq_d \quad (\text{Ec. 2.22.})$$

Donde:

$\eta_c$ : Eficiencia térmica de la caldera, [%].

$\sum(q_{perdidas})$ : Sumatoria de pérdidas de calor, [%].

$Pq_a$ : Porcentaje de pérdidas de calor sensible, [%].

$Pq_b$ : Porcentaje de pérdidas de calor por combustión incompleta, [%].

$Pq_{cr}$ : Porcentaje de pérdidas de calor por radiación y convección, [%].

$Pq_d$ : Porcentaje de pérdidas de calor por purgas, [%].

Existen cuatro pérdidas principales pero la norma indica que la eficiencia es obtenida únicamente con las pérdidas de los gases de chimenea, las cuales son pérdidas de calor sensible y por combustión incompleta. Adicionalmente, algunos manuales de mantenimiento [22] sugieren considerar pérdidas por radiación, convección y purgas, para obtener un análisis más aproximado. Por lo tanto, para el caso de estudio se consideran las cuatro pérdidas.

### **2.2.3.2.1. Análisis de gases de combustión en las chimeneas de cada caldera**

Es un análisis que determina el estado de la combustión en las calderas y si estas se encuentran aptas para la producción de vapor [23]. Además, brinda datos adicionales como la velocidad y temperatura de salida de los gases de combustión, así como datos, de manera porcentual, sobre el material particulado y emisión de gases contaminantes.

Este ensayo debe ser realizado por toda empresa en la que se lleve a cabo generación de vapor debido a la ley de gestión ambiental del Ministerio del Ambiente Ecuatoriano [24], misma que obliga a realizar este análisis dos veces al año. Este ensayo se llevó a cabo en la empresa en Julio del 2018. El ensayo lo realizó la empresa SENERIN (Servicios energéticos para la industria) y los resultados de estos se encuentran en el (Anexo 6).

### **2.2.3.2.2. Cálculo de pérdidas de calor sensible**

El calor sensible es el que es recibido por un cuerpo u objeto provocando que sufra un aumento o disminución en su temperatura, pero manteniendo su estructura molecular, sin cambio de fase [10].

En las calderas esta pérdida está relacionada con el calor transmitido por los gases de escape hacia el medio ambiente [4]. El calor depende de la temperatura de los gases a la salida de la chimenea y la cantidad de CO<sub>2</sub> producido por la combustión.

La expresión para determinar esta pérdida es la siguiente:

$$Pq_{\alpha} = \frac{V_c * Cp_{cc} * (T_g - T_{\infty})}{PCI} * 100 \text{ [%]}$$

(Ec. 2.23.)

Donde:

$Pq_{\alpha}$ : Porcentaje de pérdidas de calor sensible, [%].

$V_c$ : Volumen específico de gases de combustión, [Nm<sup>3</sup>/kg].

$T_g$ : Temperatura de los gases de escape, [°C].

$T_{\infty}$ : Temperatura ambiente, [°C].

$Cp_{cc}$ : Calor específico de gases de combustión, [kcal/Nm<sup>3</sup> °C].

$P_{CI}$ : Poder calorífico inferior del combustible, [kcal/kg].

La dificultad que presenta la ecuación (Ec. 2.23.) es la determinación del volumen específico de los gases a la salida de la chimenea, debido a que no se posee la instrumentación adecuada para obtener esta propiedad.

Por esta razón, la norma DIN EN 303-5 [21] presenta una aproximación que es la ecuación de Siegert y se muestra en la Ec. 2.24.

$$Pq_a = K_1 * \frac{(T_g - T_\infty)}{\%CO_2} \quad (\text{Ec. 2.24.})$$

Donde:

$Pq_a$ : Porcentaje de pérdidas de calor sensible, [%].

$K_1$ : Constante de proporcionalidad propia para cada combustible, [ ].

$T_g$ : Temperatura de los gases de escape, [°C].

$T_\infty$ : Temperatura ambiente, [°C].

$\%CO_2$ : Porcentaje de  $CO_2$ , [%].

La temperatura de los gases de escape es obtenida en cada caldera mediante una termocupla tipo K, que fue introducida directamente en la chimenea. A continuación, se esperó un tiempo de 5 minutos para que la temperatura se estabilice y posterior se registró un historial de valores para obtener el promedio. El porcentaje de  $CO_2$  es obtenido del análisis de gases realizado a cada caldera y la constante de proporcionalidad  $K_1$  es propia para cada combustible. Para nuestro estudio es el Bunker y se determina mediante la siguiente expresión [21]:

$$K_1 = [0,516 + (0,0067 * \%CO_2)] \quad (\text{Ec. 2.25.})$$

### **2.2.3.2.3. Cálculo de pérdidas por combustión incompleta**

La combustión incompleta se produce cuando en sus productos está presente elementos parcialmente oxidados, principalmente carbono que no se ha quemado por completo y que en consecuencia, en combinación con el oxígeno forma monóxido de carbono (CO) [23].

La presencia de monóxido de carbono se debe a una carencia de aire en la combustión lo que repercute en una pérdida de energía. La norma presenta la Ec. 2.26 para determinar esta pérdida:

$$Pq_b = K_2 * \frac{\%CO}{(\%CO_2 + \%CO)} * 100 [\%]$$

(Ec. 2.26.)

Donde:

$Pq_{ci}$ : Porcentaje de pérdidas de calor por combustión incompleta, [%].

$K_2$ : Constante de proporcionalidad propia para cada combustible, (Bunker=95) [ ].

$\%CO_2$ : Porcentaje de  $CO_2$ , [%].

$\%CO$ : Porcentaje de CO, [%].

#### 2.2.3.2.4. Cálculo de pérdidas de calor por convección y radiación

Es obtenida a partir de las pérdidas de calor en la superficie de las calderas mostrada en el apartado 2.2.1. y mediante la siguiente expresión:

$$Pq_{cr} = \frac{Calor_{calderas}}{\dot{m}_{bunker} * PCI} * 100 [\%]$$

(Ec. 2.27.)

Donde:

$Pq_{cr}$ : Porcentaje de pérdidas de calor por convección y radiación en la superficie de calderas, [%].

$Calor_{calderas}$ : Flujo de calor perdido en superficie de las calderas por convección y radiación, [W].

$\dot{m}_{bunker}$ : Flujo másico de combustible, [kg/s].

$PCI$ : Poder calorífico inferior, [kJ/kg] .

#### 2.2.3.2.5. Cálculo de pérdidas de calor por purgas

Las purgas son realizadas para la eliminación de sólidos disueltos en la parte inferior de la caldera, que son productos de sales minerales del agua al momento de pasar por el proceso de ablandamiento [4]. Es importante destacar que la no eliminación de estos

compuestos genera corrosión e incrustación en la superficie de la caldera ocasionando que la transferencia del calor sea disminuida y no se lleve a cabo de manera eficiente [23].

La metodología para determinar las pérdidas por purga es la siguiente:

1. Determinar de manera experimental el flujo másico de agua de purga, mediante un recipiente de 20 litros y un cronómetro.
2. Determinar la densidad y entalpía de líquido saturado del agua mediante la presión de trabajo de cada caldera.
3. Determinar el flujo másico de agua de purga mediante la ecuación (Ec. 2.16.) que relaciona caudal y densidad.
4. Determinar los factores de corrección de tiempo para la purga y para la inyección de combustible, esto se realiza con el fin de llevar el análisis en estado estable.
5. Determinar el calor perdido al realizar la purga y posteriormente hallar el porcentaje de pérdida en relación con el calor dado por el combustible.

La expresión para determinar esta pérdida se muestra en la Ec. 2.28.

$$Pq_d = \frac{\dot{m}_{purga} * (h_{H_2O} - h_{purga})}{(\dot{m}_{bunker} * PCI)} * \frac{tf_{purga}}{tf_{com_{pur}}} * 100[\%]$$

(Ec. 2.28.)

Donde:

$Pq_d$ : Porcentaje de pérdidas de calor por purgas, [%].

$\dot{m}_{purga}$ : Flujo másico de agua de purga, [kg/s].

$h_{H_2O}$ : Entalpía del agua de alimentación a la entrada de la caldera, [kJ/kg].

$h_{purga}$ : Entalpía del agua de purga a la presión de la caldera, [kJ/kg].

$\dot{m}_{bunker}$ : Flujo másico del combustible, [kg/s].

$PCI$ : Poder calorífico inferior del combustible, [kJ/kg].

$tf_{purga}$ : Factor de tiempo para la purga, [ ].

$tf_{com_{pur}}$ : Factor de tiempo para el ingreso de combustible, [ ].

### 2.2.3.2.6. Factor de ajuste para pérdidas de calor en la chimenea

Las pérdidas de calor en la chimenea son: pérdidas de calor sensible y combustión incompleta. Las ecuaciones que determinan estas pérdidas acarrear un error, debido a que ciertos parámetros, como el volumen y el calor específico, varían dependiendo del lugar de trabajo del equipo. Por lo tanto para determinar el factor de corrección se igualan las ecuaciones (Ec. 2.23.) y (Ec. 2.24.).

$$Pq_a = \frac{V_c * Cp_{cc} * (T_g - T_\infty)}{PCI} * 100 = K_1 * \frac{(T_g - T_\infty)}{\%CO_2}$$

En donde, la constante de proporcionalidad propia de cada combustible es obtenida de manera experimental, y al despejar  $K_1$ , se obtiene que este valor depende directamente del volumen específico de los gases a la salida de la chimenea. Por tal motivo, la expresión para determinar esta pérdida, se obtiene de manera experimental. Las condiciones para este experimento son normales o condiciones al nivel del mar que presentan una presión de 101,325 [kPa] y una temperatura ambiente de 20 [°C].

Se determina un factor de ajuste que modifique las constantes de proporcionalidad  $K_1$  y  $K_2$ , debido a que la presión ambiental en donde se encuentran las calderas es la presión de Quito (Calderón). El factor de corrección fue encontrado y se demuestra en el (Anexo 7) y es igual:

$$f_{c_{mi}} = \frac{P_{mar}}{P_{uio}} = \frac{101,35[kPa]}{71,77[kPa]} = 1,41$$

Este factor afecta  $K_1$  y  $K_2$  modificando las ecuaciones (Ec. 2.24.) y (Ec. 2.26.):

$$Pq_{af} = f_{c_{mi}} * \left[ K_1 * \frac{(T_g - T_\infty)}{\%CO_2} \right] \tag{Ec. 2.29.}$$

$$Pq_{bf} = f_{c_{mi}} * \left[ K_2 * \frac{\%CO}{(\%CO_2 + \%CO)} * 100 \right] [\%] \tag{Ec. 2.30.}$$

La letra f, al final de las pérdidas indica que las mismas han sido corregidas por el factor de ajuste.

## 2.2.4. Estimación de la efectividad de los intercambiadores de calor

Es determinada mediante el método de la efectividad-NTU, que relaciona el calor transferido con el calor máximo que teóricamente se puede transferir en un intercambiador [25]. Sus ecuaciones son las siguientes:

$$q_{hx} = \dot{m}_c * Cp_c * (Tc_o - Tc_i) \text{ [Fluido frío]} \quad (\text{Ec. 2.31.})$$

$$q_{hx} = \dot{m}_h * Cp_h * (Th_i - Th_o) \text{ [Fluido caliente]} \quad (\text{Ec. 2.32.})$$

$$q_{max} = C_{min} * (Th_i - Tc_i) \quad (\text{Ec. 2.33.})$$

$$\eta_{hx} = \frac{q_{hx}}{q_{max}} \quad (\text{Ec. 2.34.})$$

Donde:

$q_{hx}$ : Calor transferido por el intercambiador de calor, [W].

$\dot{m}_c$ : Flujo másico del fluido frío (Mezcla), [kg/s].

$Cp_h$ ;  $Cp_c$ : Calor específico del fluido frío (c) y caliente (h), [kJ/kg\*K].

$C_{min}$ : Razón de capacidad calorífica mínima, [W/K].

$Tc_o$ : Temperatura de salida del fluido frío, [K].

$Tc_i$ : Temperatura de entrada del fluido frío, [K].

$\dot{m}_h$ : Flujo másico del fluido caliente (Vapor), [kg/s].

$q_{max}$ : Calor máximo transferido por el intercambiador de calor, [W].

$Th_i$ : Temperatura de entrada del fluido caliente, [K].

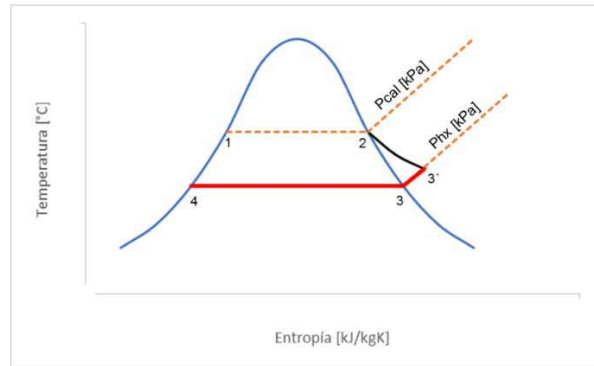
$Th_o$ : Temperatura de salida del fluido caliente, [K].

$\eta_{hx}$ : Efectividad del intercambiador de calor, [%].



### 2.2.4.1. Proceso termodinámico del vapor en el intercambiador de calor

La (Ec. 2.32) es válida si el vapor no cambia de estado, pero se sabe que este se condensa, por lo tanto, se debe analizar su proceso termodinámico.



**Figura 2.35.** Proceso termodinámico del vapor dentro del intercambiador de calor.  
(Fuente: Autores)

En la Figura 2.35 se muestra el proceso termodinámico del vapor en el intercambiador de calor (línea roja), que antes de ingresar al intercambiador de calor pasa por un regulador de presión, que provoca un sobrecalentamiento debido al proceso de estrangulación (Proceso 2 – 3’).

El flujo de calor entregado por el vapor es el transferido desde el punto 3’ al 4, por lo tanto, la ecuación (Ec. 2.32) se modifica a:

$$q_{hx} = \dot{m}_h * (h_{3'} - h_4) \quad (\text{Ec. 2.35.})$$

Donde:

$h_{3'}$  =  $h_{g@P_{cald}}$ : Entalpía del vapor sobrecalentado, igual a la entalpía de vapor saturado a la presión media de trabajo de las calderas, [kJ/kg].

$h_4$  =  $h_{f@P_{hx}}$ : Entalpía del líquido saturado a la presión de los intercambiadores de calor, [kJ/kg].

### 2.2.4.2. Cálculo de capacidad calorífica mínima

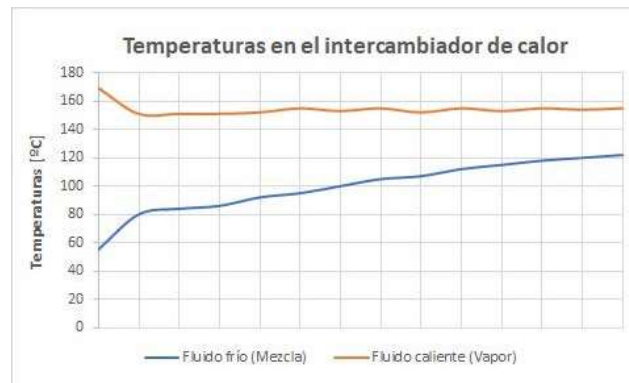
Es una comparación entre el producto del flujo másico y el calor específico de los fluidos de trabajo [19]. Debido a que el vapor en los intercambiadores de calor cambia de estado su capacidad calorífica tiende al infinito, por lo tanto, la capacidad calorífica mínima es igual al de la mezcla (baño de tinte más agua). La ecuación para determinar este parámetro es la Ec. 2.36.

$$C_{min} = \dot{m}_c * Cp_c \quad (\text{Ec. 2.36.})$$

Donde:

$Cp_c$ : Calor específico del fluido frío, [kJ/kg\*K].

Como se mencionó, el vapor se encuentra en condensación, mientras que la mezcla está en calentamiento tal como se muestra en la Figura 2.36.



**Figura 2.36.** Comportamiento de temperaturas a la entrada y salida del intercambiador de calor (Fuente: Autores)

Una vez determinada la razón de capacidad calorífica mínima, se reemplaza las ecuaciones (Ec. 2.31.), (Ec. 2.33.) y (Ec. 2.36.) en la ecuación (Ec. 2.34.) y se obtiene la relación final para el cálculo de la efectividad de los intercambiadores de calor y es la siguiente:

$$\eta_{hx} = \frac{(T_{c_o} - T_{c_i})}{(T_{h_i} - T_{c_o})} \quad (\text{Ec. 2.37.})$$

### 2.2.4.3. Medición del caudal de mezcla

Para cuantificar este valor se utilizaron caudalímetros como se observa en la Figura 2.37, y colocados en la entrada del intercambiador de calor y en la salida de la bomba de mezcla. Los pasos realizados fueron los siguientes:

1. Encendido y puesta en marcha del sistema de tinturación para poliéster negro.
2. Preparado de la mezcla.
3. Encendido automático de la bomba de inyección de la mezcla.
4. Toma de varios valores en los caudalímetros cada 20 minutos para obtener un valor promedio.



Figura 2.37. Caudalímetros máquinas de tinturación AKM (izquierda), Thies (derecha).  
(Fuente: Autores)

### 2.2.4.4. Medición de la temperatura de entrada de la mezcla

Mediante una termocupla tipo K introducida en el tanque de mezclado se determinó la temperatura. Los pasos fueron los siguientes:

1. Encender de bomba del tanque de mezcla para empezar el proceso.
2. Introducir una termocupla tipo K y esperar un tiempo de estabilización de 5 minutos, para la toma de la primera medida y luego se toman 5 medidas adicionales cada 5 minutos.
3. Obtener la temperatura de la mezcla a la entrada del intercambiador de calor al realizar un promedio de las medidas previamente tomadas.

### 2.2.4.5. Medición de la temperatura de salida de la mezcla

Se realizó mediante termocuplas localizadas en el interior del cuerpo de tinturación y el panel de control de la máquina como se observa en la Figura 2.38. Los pasos realizados fueron los siguientes:

1. Iniciar el proceso de calentamiento de la mezcla.
2. Observar en el panel de control de cada máquina de tinturación la temperatura de la mezcla dentro del cuerpo de tinturación.
3. Tomar 6 valores cada 10 minutos y proceder a calcular el promedio para obtener la temperatura media de salida.



Figura 2.38. Panel de control sistema de tinturación AKM2.  
(Fuente: Autores)

### 2.2.4.6. Cálculo de la temperatura de entrada de vapor a los intercambiadores

Se realiza mediante un análisis matemático iterativo, el cual consiste en suponer la temperatura de entrada de vapor y luego comprobar la misma. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Medir la temperatura superficial de la línea de alimentación de las calderas y suponer la temperatura de entrada al intercambiador igual a la superficial aumentada en 20 [°C].
2. Determinar la entalpía de vapor sobrecalentado a la presión media de trabajo de las calderas (proceso isoentálpico).
3. Determinar el calor transferido en el intercambiador con los datos de la mezcla aproximando esta a agua para utilizar sus propiedades termodinámicas (Ec. 2.31).
4. Calcular la resistencia térmica por conducción (Ec. 2.40).

5. Determinar la presión de trabajo de los intercambiadores de calor y la entalpía de líquido saturado a la temperatura supuesta de entrada de vapor.
6. Determinar el flujo másico de vapor mediante el calor transferido en el intercambiador y la temperatura supuesta (Ec. 2.35).
7. Determinar el coeficiente de convección forzada mediante la ecuación de flujo interno para convección forzada (Ec. 2.43).
8. Determinar la temperatura de entrada de vapor al intercambiador (Ec. 2.44).

Este proceso, cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 2.40, se repite hasta que el valor de la temperatura de entrada de vapor al intercambiador converja. Es importante destacar que cada proceso envuelve una serie de ecuaciones y consideraciones para ser aplicadas, mismas serán explicadas más adelante de manera detallada.

#### **2.2.4.6.1. Medición de la temperatura superficial de tubería de entrada de vapor**

Mediante un pirómetro óptico se procedió a medir la temperatura superficial alrededor de la tubería que alimenta vapor al intercambiador de calor. Se realizaron seis mediciones para obtener un valor promedio.

A esta temperatura se le suma un valor de 20 [°C] para obtener la temperatura de vapor a la entrada supuesta.

#### **2.2.4.6.2. Cálculo del calor transferido por los intercambiadores**

Se realiza a partir de la ecuación (Ec. 2.31.), donde el calor específico es obtenido del agua debido a que no existen tablas termodinámicas para tintes. Las propiedades como el calor específico y la densidad se determinan a la temperatura de película (promedio de temperatura de entrada y salida) a partir de la tabla A-9 de propiedades de agua saturada libro de Transferencia de Calor y Masa de Cengel, séptima edición [25].

#### **2.2.4.6.3. Determinación de la entalpía de vapor sobrecalentado**

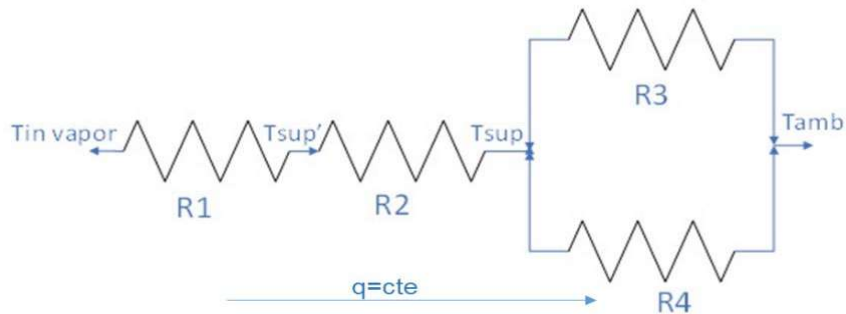
Se determina a partir de la tabla A-5 de presiones de agua saturada del libro de Termodinámica de Cengel, séptima edición [19], con el valor de la presión media de trabajo en las calderas. El valor obtenido será el mismo para todos los intercambiadores de calor, debido a que las calderas se encuentran interconectadas mediante los distribuidores de vapor, además esta entalpía será constante ya que existe un proceso de estrangulación dado por el regulador de presión a la entrada de cada intercambiador.

#### 2.2.4.6.4. Cálculo del flujo de calor por análisis de resistencias térmicas

El flujo de calor a través de la tubería de entrada del vapor es el parámetro que permite validar la temperatura de entrada del vapor en cada iteración matemática.

El análisis de resistencias térmicas consiste en colocar una resistencia por cada proceso de transferencia de calor desde el centro hasta el exterior de la tubería. Para el caso de estudio se tiene vapor por dentro y aire en el exterior de la tubería de esta manera se destaca las siguientes resistencias térmicas como se muestra en la Figura 2.39:

1. Resistencia térmica por convección forzada (R1).
2. Resistencia térmica por conducción (R2).
3. Resistencia térmica por radiación (R3).
4. Resistencia térmica por convección natural (R4).



**Figura 2.39.** Diagrama de resistencias térmicas desde el interior hasta el exterior de la tubería  
(Fuente: Autores)

Las ecuaciones para el análisis de nuestro esquema de resistencias térmicas, son las siguientes [25]:

$$q_{vt} = \frac{T_{in\ vapor} - T'_{sup}}{R_1} = \frac{T'_{sup} - T_{sup}}{R_2} = \frac{T_{sup} - T_{amb}}{R_3} + \frac{T_{sup} - T_{amb}}{R_4} \quad (\text{Ec. 2.38.})$$

$$R_1 = \frac{1}{h_{fc} * A_{int}} \quad (\text{Ec. 2.39.})$$

$$R_2 = \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2 * \pi * L * k_c} \quad (\text{Ec. 2.40.})$$

Donde:

$q_{vt}$ : Flujo de calor a través de la sección de la tubería, [W].

$R_1$ : Resistencia térmica por convección forzada (flujo interno), [K/W].

$R_2$ : Resistencia térmica por conducción, [K/W].

$R_3$ : Resistencia térmica por radiación, [K/W].

$R_4$ : Resistencia térmica por convección natural (flujo externo), [K/W].

$D_{ext}$ : Diámetro exterior de la tubería, [m].

$D_{int}$ : Diámetro interior de la tubería, [m].

$L$ : Longitud de análisis de la tubería, [m].

$k$ : Constante de conducción del acero inoxidable, [W/m\*K].

$h_{fc}$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada, [W/m<sup>2</sup>\*K].

$h_c$ : Coeficiente de transferencia de calor por convección, [W/m<sup>2</sup>\*K].

$A$ : Área de transferencia de calor, [m<sup>2</sup>].

Donde el flujo de calor a través de la tubería (Ec. 2.38.) es igual al calor transferido por radiación y convección, por lo tanto:

$$q_{vt} = h_{cr} * A_s * (T_{sup} - T_{amb})$$

(Ec. 2.41.)

#### **2.2.4.6.5. Determinación de la resistencia térmica por conducción**

Se realiza mediante la ecuación (Ec. 2.40.) en una sección de análisis de 1 [cm] de longitud antes de la entrada del intercambiador de calor. Los diámetros fueron medidos en las tuberías de alimentación (diámetro exterior). El diámetro interior se obtuvo de muestras de tuberías en el área de mantenimiento. La conductividad térmica se obtuvo de las tablas de propiedades de metales sólidos [10] para el material de análisis que es acero inoxidable AISI 304.

#### **2.2.4.6.6. Determinación de la presión de trabajo del vapor en los intercambiadores de calor (Phx) y la entalpía de líquido saturado**

La determinación de la presión de trabajo en los intercambiadores de calor se realiza a partir de una interpolación en la tabla A-6 de vapor de agua sobrecalentado del libro de Termodinámica de Cengel, séptima edición [19], a partir de la temperatura supuesta de entrada de vapor y la entalpía de vapor sobrecalentado. A continuación se procede a obtener la entalpía de líquido saturado a la presión previamente obtenida en los intercambiadores de calor mediante la tabla A-5 de presiones de agua saturada del libro de Termodinámica de Cengel, séptima edición [19].

#### **2.2.4.6.7. Cálculo del flujo de vapor.**

El cálculo del flujo de vapor se realiza mediante la ecuación (Ec. 2.35.) y los valores obtenidos de entalpías de vapor sobrecalentado y líquido saturado.

#### **2.2.4.6.8. Cálculo del número de Reynolds**

La resistencia térmica por convección forzada depende del coeficiente de transferencia de calor por convección y para determinar el mismo se debe determinar el régimen del fluido para lo cual se utiliza la ecuación Ec. 2.42 [10]:

$$Re_d = \frac{4\dot{m}_h}{D_{int} * \pi * \mu} \quad (\text{Ec. 2.42.})$$

Donde:

$Re$ : Número de Reynolds, [ ] .

$D_{int}$ : Diámetro interior de la tubería, [m].

$\mu$ : Viscosidad dinámica del fluido a la temperatura de entrada de vapor, [kg/m\*s].

$\dot{m}_h$ : Flujo de vapor, [kg/s].

La viscosidad dinámica del fluido es obtenida de la tabla A-9 de propiedades de agua saturada libro de Transferencia de Calor y Masa de Cengel, séptima edición [25].



#### **2.2.4.6.9. Cálculo del número de Nusselt y el coeficiente de transferencia de calor por convección**

La expresión mediante la cual se determina el número de Nusselt para enfriamiento es la Ec. 2.43 [10]:

$$Nul = 0,023 * Re^{\frac{4}{5}} * (Pran)^n \quad (\text{Ec. 2.43.})$$

Donde:

$n$ : Coeficiente de enfriamiento o calentamiento (Enfriamiento  $n = 0,3$ ), [].

El coeficiente de transferencia de calor por convección se determina mediante la (Ec. 2.6.), y el número de Prandtl y la conductividad térmica se determinan mediante la tabla A-9 de propiedades de agua saturada libro de Transferencia de Calor y Masa de Cengel, séptima edición [25], a la temperatura supuesta de entrada de vapor.

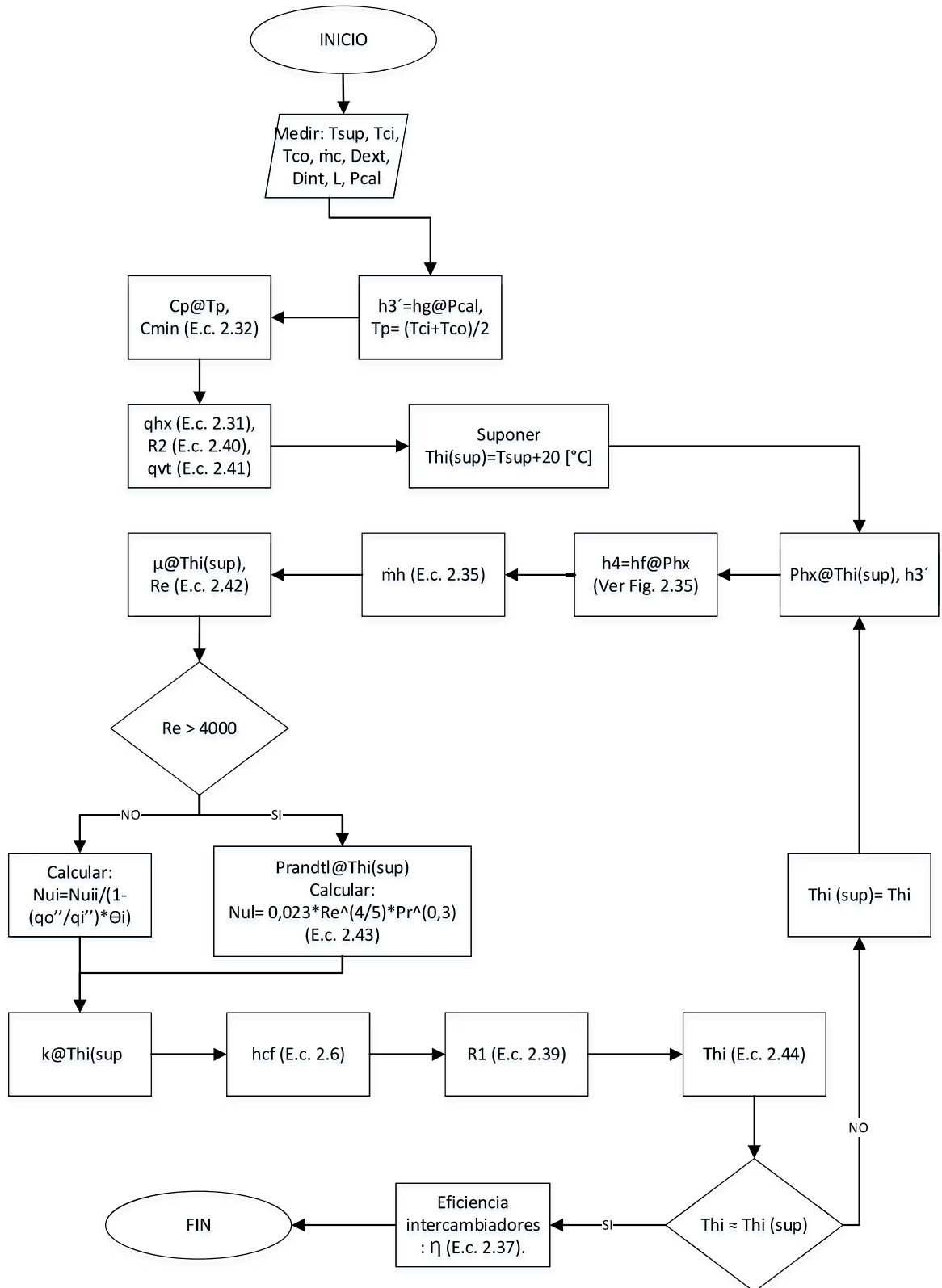
Finalmente se reemplaza  $h_{cf}$  en la (Ec. 2.39.) y se obtiene la resistencia térmica por convección forzada.

#### **2.2.4.6.10. Cálculo de la resistencia térmica por convección forzada y la temperatura de entrada de vapor**

La temperatura de entrada de vapor es determinada a partir del análisis de resistencias de la ecuación (Ec. 2.38.) en donde al despejar la ecuación se obtiene la Ec. 2.44:

$$T_{in\ vapor} = [q_{vt} * (R1 + R2)] + T_{sup} \quad (\text{Ec. 2.44.})$$

Se reemplaza los valores obtenidos para encontrar la temperatura de entrada del vapor que es comparada con la supuesta, y de diferir los valores. Se repite el proceso tomando la temperatura calculada como la inicial y repetir hasta converger. En la Figura 2.40 se muestra el diagrama de flujo para obtener la temperatura de entrada del vapor.



**Figura 2.40.** Diagrama de flujo para la obtención de  $Th$  y  $\eta_{hx}$ .  
(Fuente: Autores)

## 2.2.5. Determinación de costos energéticos de los sistemas

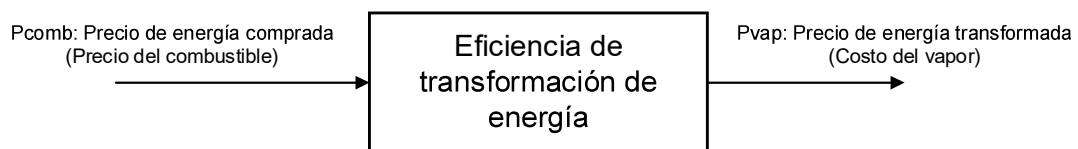
### 2.2.5.1. Cálculo del costo de generación de vapor

Es un parámetro que indica de manera monetaria el costo que tiene la generación de vapor en la empresa. Los costos asociados para el cálculo de este parámetro son los siguientes:

- Consumo y precio de combustible.
- Consumo y precio de sustancias químicas para el agua.
- Consumo y precio de electricidad.
- Costos de operación y mantenimiento.

De donde se destaca únicamente al consumo y precio de combustible ya que abarcan aproximadamente el 93% de los costos asociados, puesto que los otros se encuentran considerados de manera indirecta en otros rubros económicos [26].

Cada unidad energética generada en las calderas será afectada por la capacidad de aprovechamiento de la energía dada por el combustible, es decir, serán afectadas por la eficiencia, por lo que se puede hacer una relación de precio y costo, tal como se muestra en la **Figura 2.41**.



**Figura 2.41.** Precio de energía comprada por unidad de generación de vapor.  
(Fuente: Autores)

De donde obtenemos la siguiente expresión:

$$\eta_c = \frac{P_{comb}}{P_{vap}} \rightarrow P_{vap} = \frac{P_{comb}}{\eta_c}$$

(Ec. 2.45.)

Donde:

$\eta_c$ : Eficiencia de la caldera, [ ].

$P_{comb}$ : Precio del combustible, [USD./kg.comb].

$P_{vap}$ : Costo del vapor, [USD./kg.comb].

Para obtener el costo del vapor en unidades de masa de vapor, se debe multiplicar por el consumo específico de energía que es un indicador que relaciona la cantidad de energía por unidad de producción o servicio y es determinado con la siguiente expresión:

$$SC = \frac{h_v - h_{H2O}}{PCI}$$

(Ec. 2.46.)

Donde:

$SC$ : Consumo específico de energía, [kg.comb/kg.vapor].

$h_v$ : Entalpía de vapor a la presión de trabajo en las calderas, [kJ/kg.vapor].

$h_{H2O}$ : Entalpía de agua de alimentación a la temperatura de entrada, [kJ/kg.vapor].

$PCI$ : Poder calorífico inferior, [kJ/kg.comb].

Para obtener la expresión final que permite determinar el costo del vapor se procede a multiplicar las ecuaciones (Ec. 2.45.) (Ec. 2.46.) y este producto es dividido para la entalpía del vapor y obtener el costo por unidad de energía, la expresión es la siguiente:

$$P_{vapor} = \frac{P_{comb}}{\eta_c} * \frac{h_v - h_{H2O}}{PCI} * \frac{1}{h_v}$$

(Ec. 2.47.)

Donde:

$P_{vapor}$ : Costo del vapor, [USD./kJ].

El precio finalmente obtenido está en unidades de dólares referentes a unidades energéticas.

### 2.2.5.2. Determinación del costo de pérdidas de energía

A partir del apartado 2.2.1 se tienen pérdidas en la mayoría de los componentes de los sistemas auditados, por tal motivo es importante determinar cuánto representan estas en unidades monetarias. La expresión para determinar el costo de pérdidas de energía es la siguiente:

$$C_q = q * P_{vapor} * \frac{31536000[s]}{año}$$

(Ec. 2.48.)

Donde:

$C_q$ : Costo de pérdida de calor, [USD./año].

$q$ : Calor de pérdida, [kW].

### 2.2.5.3. Análisis financiero de propuestas de mejora

Mediante los costos de pérdida se procede a establecer propuestas de mejora, que son evaluadas de manera financiera, y se obtiene su viabilidad mediante los siguientes indicadores [27]:

- Tiempo de recuperación de capital (TRC).
- Valor actual neto (VAN).
- Tasa interna de retorno (TIR).

#### 2.2.5.3.1. Cálculo del tiempo de recuperación de capital

Es el tiempo en el cual una empresa recupera la inversión realizada en un proyecto [27]. Para calcular el tiempo de recuperación de dinero de las propuestas de mejora a implementarse, la expresión a utilizar es la siguiente [27]:

$$TRC = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro}} = \frac{I_o}{A_h}$$

(Ec. 2.49.)

Donde:

$TRC$ : Tiempo de recuperación de capital, [mes].

$A_h$ : Ahorro por propuestas de mejora, [USD./mes].

$I_o$ : Inversión de las propuestas de mejora, [USD.].

#### 2.2.5.3.2. Determinación del valor presente neto

Es un indicador que permite determinar la viabilidad de un proyecto teniendo tres condiciones:

- $VAN > 0$  [Viable]
- $VAN < 0$  [No viable]
- $VAN = 0$  [Indiferente]

La expresión para determinar este es la siguiente [27]:

$$VAN = \left[ \sum_{t=1}^n \frac{A_h}{(1 + T_i)^t} \right] - I_o$$

(Ec. 2.50.)

Donde:

$VAN$ : Valor presente neto, [USD.].

$A_h$ : Flujo neto (ver Anexo 12) , [USD./mes].

$n$ : Número de períodos considerados.

$T_i$ : Tasa de interés. [%]

$t$ : Tiempo de análisis.

### 2.2.5.3.3. Cálculo de la tasa interna de retorno

Es un indicador que permite determinar la rentabilidad de un proyecto, teniendo dos condiciones:

- TIR > Tasa de interés [Rentable]
- TIR < Tasa de interés [No rentable]

Para determinar la expresión de la TIR se parte de la ecuación del VAN igualada a cero, y se despeja la nueva tasa de interés (TIR):

$$VAN = \left[ \sum_{t=1}^n \frac{A_h}{(1 + TIR)^t} \right] - I_o = 0$$

(Ec. 2.51.)

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos mediante datos experimentales, inspecciones visuales, ecuaciones termodinámicas y de transferencia de calor explicadas en el Capítulo 2.

Los resultados se presentan de manera tabulada y todos los demás cálculos previos para la obtención de estos parámetros se muestran en el Anexo 8.

#### **3.1. Resultados de auditoría energética preliminar**

Se presentan las observaciones después de haber levantado la información correspondiente a cada proceso.

##### **3.1.1. Observaciones de auditoría preliminar: sistema de generación de vapor**

1. La operación de las calderas se encuentra dentro de regímenes y parámetros normales de operación, no se observó alguna anomalía respecto al funcionamiento.
2. Las superficies de las calderas no se encuentran aisladas, y como consecuencia se está perdiendo calor hacia el ambiente.
3. Las bombas de inyección de combustible hacia las calderas presentan fugas debido a un mal mantenimiento de estas, y como consecuencia, incrementa el consumo de combustible.
4. El aislante térmico de los distribuidores de vapor se encuentra en mal estado, o se usa tela, que no posee propiedades para aislar el calor.
5. Algunas válvulas de paso de vapor en distribuidores de vapor presentan fisuras, que repercuten en pérdida de energía a través del vapor.
6. Los tanques de condensado y líneas de retorno no disponen de aislamiento térmico.
7. Un 72% del total de tubería se encuentra sin aislamiento como se muestra en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Porcentaje de aislamiento entre líneas de distribución de vapor y retorno de condensado.

| Tubería            | Longitud [m] | Porcentaje [%] |
|--------------------|--------------|----------------|
| Total tubería      | 464,3        | 100            |
| Tubería sin aislar | 334,6        | 72,1           |
| Tubería aislada    | 129,7        | 27,9           |

(Fuente: Autores)

### **3.1.2. Observaciones de auditoría preliminar: sistema de tinturación**

1. El funcionamiento de las ocho máquinas se encuentra dentro de los parámetros normales de operación.
2. La superficie de los intercambiadores de calor no se encuentra aislada, por lo que existe una pérdida de energía térmica al ambiente.
3. Algunos controladores de presión requieren mantenimiento debido al sonido agudo que emiten cuando se encuentran en operación.
4. Las bombas de inyección de mezcla al intercambiador de calor requieren de lubricación debido a que presentan un ruido agudo a lo largo de su funcionamiento.
5. Algunas trampas de vapor se encuentran oxidadas, pero están trabajando de manera correcta como se explicó en la inspección de trampas.
6. Algunos elementos mecánicos de las máquinas de tinturación como poleas, cojinetes, rodamientos, requieren mantenimiento, debido a que es notable el desgaste en estos.

## **3.2. Resultados de auditoría energética detallada**

Se presentan valores cuantitativos que reflejan el estado de operación de cada máquina.

### **3.2.1. Pérdidas de calor en la superficie de los sistemas**

En la Tabla 3.2 a la Tabla 3.8 se muestran los resultados obtenidos de las pérdidas de calor en los componentes principales de los sistemas auditados.



### 3.2.1.1. Pérdidas de calor en la superficie de las calderas

**Tabla 3.2.** Pérdidas de calor en las calderas.

| Caldera | Sección | Longitud [m] | Diámetro [m] | Tsuperficial [°C] | Tamb [°C] | hr [W/m²K] | hc [W/m²K] | hcr [W/m²K]  | Calor <sub>calderas</sub> [W] |
|---------|---------|--------------|--------------|-------------------|-----------|------------|------------|--------------|-------------------------------|
| 1       | A       | 0,6          | 2,1          | 64,1              | 28,7      | 6,0        | 4,2        | 10,2         | <b>1426,6</b>                 |
|         | B       | 3,2          | 2,1          | 56,2              | 28,7      | 5,8        | 3,8        | 9,6          | <b>5574,1</b>                 |
|         | C       | 0,6          | 2,1          | 72,3              | 28,7      | 6,3        | 4,3        | 10,6         | <b>1828,4</b>                 |
|         | D       | 0,0          | 2,1          | 55,6              | 28,7      | 5,8        | 4,0        | 9,8          | <b>913,8</b>                  |
|         | E       | 0,0          | 2,1          | 79,4              | 28,7      | 6,5        | 4,7        | 11,2         | <b>1964,8</b>                 |
| 2       | A       | 0,6          | 2,3          | 61,1              | 28,7      | 5,9        | 4,0        | 9,9          | <b>1391,3</b>                 |
|         | B       | 3,3          | 2,3          | 44,6              | 28,7      | 5,5        | 3,2        | 8,7          | <b>3281,6</b>                 |
|         | C       | 0,6          | 2,3          | 66,2              | 28,7      | 6,1        | 4,2        | 10,2         | <b>1663,0</b>                 |
|         | D       | 0,0          | 2,3          | 109,0             | 28,7      | 7,5        | 4,5        | 11,9         | <b>3972,5</b>                 |
|         | E       | 0,0          | 2,3          | 142,9             | 28,7      | 8,7        | 4,6        | 13,3         | <b>6310,3</b>                 |
| 3       | A       | 0,6          | 2,0          | 69,3              | 28,7      | 6,2        | 4,3        | 10,4         | <b>1596,4</b>                 |
|         | B       | 2,8          | 2,0          | 44,9              | 28,7      | 5,5        | 3,3        | 8,7          | <b>2482,1</b>                 |
|         | C       | 0,6          | 2,0          | 75,2              | 28,7      | 6,3        | 4,4        | 10,8         | <b>1888,8</b>                 |
|         | D       | 0,0          | 2,0          | 105,3             | 28,7      | 7,3        | 4,6        | 11,9         | <b>2863,0</b>                 |
|         | E       | 0,0          | 2,0          | 141,0             | 28,7      | 8,6        | 4,6        | 13,2         | <b>4674,4</b>                 |
|         |         |              |              |                   |           |            |            | <b>Total</b> | <b>41831,1</b>                |

(Fuente: Autores)

Se observa que la mayor pérdida de calor en las calderas se encuentra ubicada en la sección E, que corresponde a la chimenea.

### 3.2.1.2. Pérdidas de calor en distribuidores de vapor

**Tabla 3.3.** Pérdidas de calor en los distribuidores de vapor.

| Distribuidor | Sección | Longitud [m] | Diámetro [m] | Tsuperficial [°C] | Tamb [°C] | hr [W/m²K] | hc [W/m²K] | hcr [W/m²K]  | Calor <sub>distrib</sub> [W] |
|--------------|---------|--------------|--------------|-------------------|-----------|------------|------------|--------------|------------------------------|
| 1            | A       | -----        | 0,23         | 160,9             | 28,7      | 9,44       | 6,56       | 16,00        | <b>87,87</b>                 |
|              | B       | -----        | 0,23         | 160,2             | 28,7      | 9,42       | 6,55       | 15,97        | <b>87,29</b>                 |
|              | C       | 2,5          | 0,23         | 159,1             | 28,7      | 9,37       | 6,57       | 15,94        | <b>3752,71</b>               |
| 2            | A       | -----        | 0,23         | 165,1             | 28,7      | 9,62       | 6,60       | 16,23        | <b>91,94</b>                 |
|              | B       | -----        | 0,23         | 164,9             | 28,7      | 9,62       | 6,60       | 16,22        | <b>91,76</b>                 |
|              | C       | 1,4          | 0,23         | 162,8             | 28,7      | 9,53       | 6,60       | 16,12        | <b>2186,84</b>               |
|              |         |              |              |                   |           |            |            | <b>Total</b> | <b>6123,25</b>               |

(Fuente: Autores)

La pérdida de calor en las tapas de los distribuidores de vapor, secciones A y B, es mínima en comparación a la pérdida en todo el cuerpo.

### 3.2.1.3. Pérdidas de calor en tanques de condensado

**Tabla 3.4.** Pérdidas de calor los tanques de condensado.

| Tanque condensado | Tramo | Longitud [m] | Diámetro [m] | Tsuperficial [°C] | Tamb [°C] | hr [W/m <sup>2</sup> K] | hc [W/m <sup>2</sup> K] | hcr [W/m <sup>2</sup> K] | Calor <sub>tanqcond</sub> [W] |
|-------------------|-------|--------------|--------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| 1                 | A     | 1,90         | 0,90         | 84,57             | 25,20     | 6,5                     | 4,8                     | 11,3                     | <b>3618,71</b>                |
|                   | B     | ----         | 0,90         | 68,30             | 25,20     | 6,0                     | 4,4                     | 10,4                     | <b>286,27</b>                 |
|                   | C     | ----         | 0,90         | 80,00             | 25,20     | 6,4                     | 4,7                     | 11,1                     | <b>386,99</b>                 |
| (2)               | A     | 1,90         | 0,90         | 70,60             | 25,20     | 6,1                     | 4,5                     | 10,6                     | <b>2578,88</b>                |
|                   | B     | ----         | 0,90         | 80,70             | 25,20     | 6,4                     | 4,7                     | 11,1                     | <b>393,27</b>                 |
|                   | C     | ----         | 0,90         | 79,75             | 25,20     | 6,4                     | 4,7                     | 11,1                     | <b>384,74</b>                 |
| <b>Total</b>      |       |              |              |                   |           |                         |                         |                          | <b>7648,87</b>                |

(Fuente: Autores)

La pérdida de calor en el cuerpo del tanque de condensado es mayor a las pérdidas por sus tapas.

### 3.2.1.4. Pérdidas de calor en intercambiadores de calor

**Tabla 3.5.** Pérdidas de calor en los intercambiadores de calor.

| Nº           | Máquina   | Longitud [m] | Diámetro [m] | Tsuperficial [°C] | Tamb [°C] | hr [W/m <sup>2</sup> K] | hc [W/m <sup>2</sup> K] | hcr [W/m <sup>2</sup> K] | Calor <sub>interc</sub> [W] |
|--------------|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1            | Brazzoli  | 1,5          | 0,32         | 108,00            | 25,2      | 7,31                    | 5,2                     | 12,54                    | <b>1565,46</b>              |
| 2            | AKM       | 2,2          | 0,30         | 109,78            | 25,2      | 7,37                    | 4,4                     | 11,82                    | <b>2072,76</b>              |
| 3            | AKM       | 2,2          | 0,30         | 111,83            | 25,2      | 7,44                    | 4,5                     | 11,92                    | <b>2141,37</b>              |
| 4            | Thies     | 3,2          | 0,16         | 89,92             | 25,2      | 6,71                    | 4,9                     | 11,58                    | <b>1204,94</b>              |
| 5            | Thies     | 3,2          | 0,16         | 90,72             | 25,2      | 6,73                    | 4,9                     | 11,62                    | <b>1224,23</b>              |
| 6            | Thies     | 3,2          | 0,16         | 90,18             | 25,2      | 6,72                    | 4,9                     | 11,59                    | <b>1211,38</b>              |
| 7            | MSC Italy | 3,5          | 0,20         | 105,35            | 25,2      | 7,22                    | 5,2                     | 12,38                    | <b>2182,25</b>              |
| 8            | Then      | 3,5          | 0,20         | 95,33             | 25,2      | 6,88                    | 5,0                     | 11,87                    | <b>1831,20</b>              |
| <b>TOTAL</b> |           |              |              |                   |           |                         |                         |                          | <b>13433,60</b>             |

(Fuente: Autores)

Las máquinas de tinturación AKM y MCS Italy presentan las mayores pérdidas de calor en sus intercambiadores, debido a que el tamaño de estos es mayor al de otras máquinas de tinturación.

### 3.2.1.5. Pérdidas de calor en líneas de distribución de vapor

En la Tabla 3.6 se muestran las dimensiones de las líneas de distribución y el espesor de su aislante térmico.

**Tabla 3.6.** Dimensiones geométricas de líneas de distribución.

| Línea | Tramo     | Longitud [m] | Diámetro [plg] | Espesor de aislante [mm] |
|-------|-----------|--------------|----------------|--------------------------|
| 1     | d1 - d2   | 2,4          | 3              | 25                       |
|       | d2 - d3   | 6,3          | 3              | 25                       |
|       | d3 - d4   | 12,3         | 3              | 25                       |
|       | d4 - d5   | 3,2          | 3              | 25                       |
|       | d5 - d6   | 1,2          | 3              | 25                       |
|       | d6 - d7   | 0,7          | 3              | 25                       |
| 2     | d8 - d9   | 2,2          | 3              | 25                       |
|       | d9 - d10  | 18,3         | 3              | 25                       |
| 3     | d16 - d17 | 2,0          | 3              | 25                       |
|       | d17 - d18 | 17,6         | 3              | 25                       |
| 4     | d22 - d23 | 1,8          | 2              | 25                       |
|       | d23 - d24 | 0,1          | 2              | 25                       |
|       | d24 - d25 | 0,5          | 2              | 25                       |
|       | d25 - d26 | 5,6          | 2              | 25                       |
| 5     | d37 - d38 | 3,4          | 2,5            | ----                     |
|       | d38 - d39 | 2,0          | 2,5            | ----                     |
| 6     | d40 - d41 | 1,9          | 2,5            | ----                     |
|       | d41 - d42 | 3,4          | 2,5            | ----                     |
| 7     | d20 - d19 | 2,2          | 2,5            | 25                       |
|       | d19 - d18 | 7,4          | 2,5            | 25                       |
| 8     | d27 - d28 | 2,4          | 1,5            | ----                     |
|       | d28 - d26 | 10,0         | 1,5            | 25                       |
| 9     | d12 - d11 | 3,3          | 3              | 25                       |
|       | d11 - d10 | 2,0          | 3              | 25                       |
| 2--9  | d13 - d14 | 8,4          | 3              | 25                       |
|       | d16 - d17 | 2,4          | 3              | 25                       |
|       | d18 - d19 | 1,2          | 3              | 25                       |
|       | d20 - d21 | 0,7          | 3              | 25                       |
|       | d10 - d15 | 39,3         | 3              | ----                     |
| 3--7  | d18 - d21 | 3,8          | 3              | ----                     |
| 4--8  | d26 - d29 | 8,8          | 2              | ----                     |
|       | d29 - d30 | 8,7          | 2              | 25                       |
|       | d30 - d31 | 10,1         | 2              | ----                     |
|       | d31 - d32 | 9,8          | 2              | 25                       |
|       | d32 - d33 | 7,3          | 2              | ----                     |
|       | d32 - d34 | 17,2         | 2              | ----                     |
|       | d34 - d35 | 7,3          | 2              | ----                     |
|       | d35 - d36 | 9,5          | 2              | ----                     |

(Fuente: Autores)

Como se observa en la Tabla 3.6 algunas líneas e interconexiones no poseen aislante térmico, por lo tanto, el análisis de pérdidas de calor es realizado solo en estas.

**Tabla 3.7.** Pérdidas de calor en las líneas de distribución.

| Línea        | Tramo     | Longitud [m] | Diámetro [m] | Tsuperficial [°C] | Tamb [°C] | hr [W/m <sup>2</sup> K] | hc [W/m <sup>2</sup> K] | hcr [W/m <sup>2</sup> K] | Calor [W]       |
|--------------|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|
| <b>5</b>     | d37 - d38 | 3,4          | 0,064        | 150,28            | 28,7      | 9,0                     | 5,6                     | 14,6                     | <b>1214,15</b>  |
|              | d38 - d39 | 2,0          | 0,064        | 68,81             | 28,7      | 6,2                     | 5,8                     | 12,0                     | <b>191,62</b>   |
| <b>6</b>     | d40 - d41 | 1,9          | 0,064        | 153,05            | 28,7      | 9,1                     | 5,7                     | 14,8                     | <b>698,13</b>   |
|              | d41 - d42 | 3,4          | 0,064        | 151,01            | 28,7      | 9,0                     | 7,5                     | 16,5                     | <b>1370,11</b>  |
| <b>8</b>     | d27 - d28 | 2,4          | 0,038        | 155,83            | 28,7      | 9,2                     | 5,7                     | 14,9                     | <b>534,33</b>   |
| <b>2--9</b>  | d10 - d15 | 39,3         | 0,076        | 151,49            | 28,7      | 9,1                     | 7,2                     | 16,2                     | <b>18712,25</b> |
| <b>3--7</b>  | d18 - d21 | 3,8          | 0,076        | 149,20            | 28,7      | 9,0                     | 7,1                     | 16,1                     | <b>1763,37</b>  |
| <b>4--8</b>  | d26 - d29 | 8,8          | 0,051        | 156,50            | 28,7      | 9,3                     | 8,0                     | 17,2                     | <b>3094,13</b>  |
|              | d30 - d31 | 10,1         | 0,051        | 152,31            | 28,7      | 9,1                     | 7,9                     | 17,0                     | <b>3390,37</b>  |
|              | d32 - d33 | 7,3          | 0,051        | 151,78            | 28,7      | 9,1                     | 8,0                     | 17,0                     | <b>2426,80</b>  |
|              | d32 - d34 | 17,2         | 0,051        | 151,20            | 28,7      | 9,0                     | 7,9                     | 17,0                     | <b>5722,20</b>  |
|              | d34 - d35 | 7,3          | 0,051        | 150,65            | 28,7      | 9,0                     | 7,9                     | 17,0                     | <b>2409,06</b>  |
|              | d35 - d36 | 9,5          | 0,051        | 146,86            | 28,7      | 8,9                     | 7,9                     | 16,8                     | <b>2985,28</b>  |
| <b>Total</b> |           |              |              |                   |           |                         |                         |                          | <b>44511,80</b> |

(Fuente: Autores)

La mayor pérdida de calor en líneas de distribución se encuentra en las tuberías de mayor longitud que no poseen aislante térmico.

### 3.2.1.6. Pérdidas de calor en líneas de retorno de condensado

**Tabla 3.8.** Pérdidas de calor en las líneas de retorno de condensado.

| Retorno  | Tramo     | Longitud [m] | Diámetro [m] | Tsuperficial [°C] | Tamb [°C] | hr [W/m <sup>2</sup> K] | hc [W/m <sup>2</sup> K] | hcr [W/m <sup>2</sup> K] | Calor [W]      |
|----------|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------|
| Brazzoli | r1 - r2   | 0,2          | 0,034        | 94,83             | 25,20     | 6,9                     | 3,8                     | 10,7                     | <b>15,86</b>   |
|          | r2 - r3   | 1,6          | 0,034        | 91,70             | 25,20     | 6,8                     | 3,9                     | 10,7                     | <b>121,44</b>  |
|          | r3 - r4   | 2,7          | 0,034        | 89,12             | 25,20     | 6,7                     | 6,4                     | 13,1                     | <b>241,63</b>  |
| AKM 1    | r5 - r6   | 1,3          | 0,0483       | 95,75             | 25,20     | 6,9                     | 4,0                     | 10,9                     | <b>151,54</b>  |
|          | r6 - r7   | 12,7         | 0,0483       | 87,33             | 25,20     | 6,6                     | 3,3                     | 9,9                      | <b>1191,29</b> |
|          | r7 - r8   | 1,1          | 0,0483       | 70,02             | 25,20     | 6,1                     | 3,5                     | 9,6                      | <b>71,98</b>   |
|          | r8 - r9   | 4,7          | 0,0483       | 69,50             | 25,20     | 6,1                     | 3,0                     | 9,0                      | <b>285,45</b>  |
|          | r9 - r10  | 4,5          | 0,0483       | 72,15             | 25,20     | 6,2                     | 3,0                     | 9,2                      | <b>293,72</b>  |
|          | r10 - r11 | 1,5          | 0,0483       | 73,38             | 25,20     | 6,2                     | 3,6                     | 9,8                      | <b>107,33</b>  |
| AKM 2    | r12 - r13 | 1,5          | 0,0483       | 97,65             | 25,20     | 7,0                     | 4,0                     | 11,0                     | <b>180,95</b>  |
|          | r13 - r14 | 7,3          | 0,0483       | 92,23             | 25,20     | 6,8                     | 3,4                     | 10,2                     | <b>755,52</b>  |
|          | r14 - r15 | 0,9          | 0,0483       | 88,65             | 25,20     | 6,7                     | 3,9                     | 10,6                     | <b>91,52</b>   |
|          | r15 - r16 | 5,4          | 0,0483       | 83,98             | 25,20     | 6,5                     | 3,3                     | 9,8                      | <b>471,72</b>  |
|          | r16 - r17 | 5,1          | 0,0483       | 77,13             | 25,20     | 6,3                     | 3,2                     | 9,5                      | <b>380,69</b>  |
|          | r17 - r18 | 1,5          | 0,0483       | 73,52             | 25,20     | 6,2                     | 3,6                     | 9,8                      | <b>107,69</b>  |

(Fuente: Autores)

**Tabla 3.9.** Continuación Tabla 3.8.

| Retorno          | Tramo     | Longitud [m] | Diámetro [m] | Tsuperficial [°C] | Tamb [°C] | hr [W/m²K] | hc [W/m²K] | hcr [W/m²K] | Calor [W]       |
|------------------|-----------|--------------|--------------|-------------------|-----------|------------|------------|-------------|-----------------|
| Thies            | r19 - r20 | 1,2          | 0,0483       | 98,20             | 25,20     | 7,0        | 3,5        | 10,4        | <b>138,86</b>   |
|                  | r20 - r21 | 2,3          | 0,0483       | 93,52             | 25,20     | 6,8        | 3,9        | 10,8        | <b>256,52</b>   |
|                  | r21 - r22 | 0,9          | 0,0483       | 89,75             | 25,20     | 6,7        | 3,4        | 10,1        | <b>88,69</b>    |
|                  | r22 - r23 | 2,7          | 0,0483       | 86,07             | 25,20     | 6,6        | 3,3        | 9,9         | <b>246,62</b>   |
|                  | r23 - r24 | 0,7          | 0,0483       | 74,75             | 25,20     | 6,2        | 3,6        | 9,9         | <b>52,02</b>    |
| Thies            | r25 - r26 | 1,8          | 0,0483       | 96,45             | 25,20     | 6,9        | 4,0        | 10,9        | <b>212,30</b>   |
|                  | r26 - r27 | 9,1          | 0,0483       | 92,58             | 25,20     | 6,8        | 3,4        | 10,2        | <b>948,06</b>   |
|                  | r27 - r28 | 3,1          | 0,0483       | 88,03             | 25,20     | 6,6        | 3,3        | 10,0        | <b>294,98</b>   |
|                  | r28 - r29 | 0,8          | 0,0483       | 83,08             | 25,20     | 6,5        | 3,8        | 10,3        | <b>72,33</b>    |
| Thies            | r30 - r31 | 3,3          | 0,0483       | 94,97             | 25,20     | 6,9        | 4,0        | 10,9        | <b>380,14</b>   |
|                  | r31 - r36 | 1,9          | 0,0483       | 91,15             | 25,20     | 6,7        | 3,4        | 10,1        | <b>192,51</b>   |
| MSC Italy        | r32 - r33 | 1,1          | 0,0483       | 98,35             | 25,20     | 7,0        | 4,0        | 11,0        | <b>134,56</b>   |
|                  | r33 - r36 | 27,1         | 0,0483       | 95,43             | 25,20     | 6,9        | 3,4        | 10,3        | <b>2980,64</b>  |
|                  | r36 - r37 | 12,3         | 0,0483       | 91,50             | 25,20     | 6,8        | 3,4        | 10,1        | <b>1254,92</b>  |
|                  | r37 - r38 | 5,4          | 0,0483       | 88,38             | 25,20     | 6,7        | 3,3        | 10,0        | <b>517,56</b>   |
|                  | r38 - r39 | 5,5          | 0,0483       | 86,17             | 25,20     | 6,6        | 3,3        | 9,9         | <b>503,38</b>   |
|                  | r39 - r40 | 1,8          | 0,0483       | 87,23             | 25,20     | 6,6        | 3,8        | 10,5        | <b>177,33</b>   |
| Then             | r34 - r35 | 0,6          | 0,0483       | 98,65             | 25,20     | 7,0        | 3,5        | 10,5        | <b>70,00</b>    |
|                  | r35 - r36 | 2,5          | 0,0483       | 97,57             | 25,20     | 7,0        | 4,0        | 11,0        | <b>300,60</b>   |
| Secadora 1       | r41 - r42 | 2,8          | 0,0254       | 98,85             | 25,20     | 7,0        | 4,0        | 11,0        | <b>181,11</b>   |
|                  | r42 - r43 | 1,9          | 0,0254       | 95,52             | 25,20     | 6,9        | 7,1        | 13,9        | <b>148,67</b>   |
| Secadora 2       | r44 - r45 | 2,9          | 0,0254       | 98,07             | 25,20     | 7,0        | 4,0        | 11,0        | <b>184,91</b>   |
|                  | r45 - r46 | 2            | 0,0254       | 94,72             | 25,20     | 6,9        | 7,0        | 13,9        | <b>154,20</b>   |
| Secadora 3       | r47 - r48 | 1,8          | 0,0254       | 97,45             | 25,20     | 7,0        | 4,0        | 11,0        | <b>113,71</b>   |
|                  | r48 - r49 | 2,1          | 0,0254       | 94,02             | 25,20     | 6,8        | 7,0        | 13,9        | <b>159,84</b>   |
|                  | r49 - r50 | 5,3          | 0,0254       | 92,30             | 25,20     | 6,8        | 7,0        | 13,8        | <b>390,56</b>   |
| Secadora cuellos | r51 - r52 | 2,8          | 0,0254       | 99,35             | 25,20     | 7,0        | 4,0        | 11,0        | <b>182,75</b>   |
|                  | r52 - r53 | 4,3          | 0,0254       | 96,82             | 25,20     | 6,9        | 7,1        | 14,0        | <b>344,36</b>   |
|                  | r53 - r54 | 4,2          | 0,0254       | 94,93             | 25,20     | 6,9        | 7,0        | 13,9        | <b>325,07</b>   |
|                  | r54 - r55 | 28,6         | 0,0254       | 89,32             | 25,20     | 6,7        | 6,9        | 13,6        | <b>1989,88</b>  |
|                  | r55 - r56 | 11,6         | 0,0483       | 86,82             | 25,20     | 6,6        | 3,3        | 9,9         | <b>1076,37</b>  |
|                  | r56 - r57 | 5,3          | 0,0483       | 83,75             | 25,20     | 6,5        | 3,3        | 9,8         | <b>460,62</b>   |
|                  | r57 - r58 | 4,8          | 0,0483       | 81,05             | 25,20     | 6,4        | 3,2        | 9,7         | <b>392,77</b>   |
|                  | r58 - r59 | 1,8          | 0,0483       | 77,02             | 25,20     | 6,3        | 3,7        | 10,0        | <b>141,00</b>   |
| <b>Total</b>     |           |              |              |                   |           |            |            |             | <b>19536,19</b> |

(Fuente: Autores)

Todos los resultados fueron obtenidos mediante las ecuaciones (Ec. 2.1.) a la (Ec. 2.8.) del apartado 2.2.1. Las temperaturas medidas, así como el cálculo y resultado de parámetros que no se presentaron en estas tablas se encuentran en el Anexo 8.

### 3.2.2. Pérdidas de calor por fugas de vapor

Se presentan en las válvulas de paso de vapor en el distribuidor 1, en las líneas 1,2 y 3, en donde luego de una inspección visual se determinó que el flujo de vapor es mínimo, por lo tanto, se aproxima a un diámetro de fuga pequeño, y la presión a considerar en el distribuidor es una media entre la caldera 1 y 2 que alimentan a este.

En la Tabla 3.10 se muestran los resultados de pérdidas por fugas de vapor, mismos que fueron obtenidos con las ecuaciones del apartado 2.2.2.

**Tabla 3.10.** Pérdidas de calor por fugas de vapor.

| Distribuidor | Línea | Diámetro fuga [mm] | Presión [kPa] | Presión [Bar] | Fuga vapor [kg/h] | Entalpía [kJ/kg] | Calor por fugas [W] |
|--------------|-------|--------------------|---------------|---------------|-------------------|------------------|---------------------|
| 1            | 1     | 0,5                | 702,64        | 7,0264        | 0,959             | 2762,95          | <b>735,90</b>       |
|              | 2     | 0,5                | 702,64        | 7,0264        | 0,959             | 2762,95          | <b>735,90</b>       |
|              | 3     | 0,5                | 702,64        | 7,0264        | 0,959             | 2762,95          | <b>735,90</b>       |
|              |       |                    |               |               |                   | <b>Total</b>     | <b>2207,70</b>      |

(Fuente: Autores)

### 3.2.3. Eficiencia térmica de las calderas

#### 3.2.3.1. Eficiencia de las calderas método directo

En la Tabla 3.11 a la Tabla 3.17 se presentan todos los resultados obtenidos para el cálculo de la eficiencia de las calderas por el método directo

##### 3.2.3.1.1. Flujo másico de combustible

**Tabla 3.11.** Flujo másico de combustible en las calderas.

| Caldera | Diámetro [cm] | Diferencia de alturas [cm] | Tiempo [min] | Caudal [cm <sup>3</sup> /s] | Densidad [kg/m <sup>3</sup> ] | Flujo másico [kg/s] |
|---------|---------------|----------------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| 1       | 91            | 10,9                       | 10           | 117,8                       | 923                           | <b>0,109</b>        |
| 2       | 91            | 15,1                       | 10           | 163,7                       | 923                           | <b>0,151</b>        |
| 3       | 91            | 12,5                       | 10           | 135,6                       | 923                           | <b>0,125</b>        |

(Fuente: Autores)

### 3.2.3.1.2. Flujo másico de agua de alimentación

**Tabla 3.12.** Datos de placa de bombas centrífugas en cada caldera.

| Bomba     | Potencia [Hp] | Potencia [kW] | Factor potencia | Rendimiento [%] |
|-----------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Caldera 1 | 10            | 7,5           | 0,88            | 89,60           |
| Caldera 2 | 7,5           | 5,5           | 0,87            | 86,50           |
| Caldera 3 | 7,5           | 5,5           | 0,87            | 86,50           |

(Fuente: Autores)

**Tabla 3.13.** Flujo másico de agua de alimentación a las calderas.

| Caldera | Pot ele. [W] | Pot Bomba [W] | Variación de presiones [kPa] | Temperatura ingreso [°C] | Vol. especi. [m3/kg] | Flujo másico [kg/s] |
|---------|--------------|---------------|------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|
| 1       | 7268,91      | 6512,95       | 606,74                       | 80,0                     | 0,001029             | <b>10,4</b>         |
| 2       | 5025,97      | 4347,46       | 655,00                       | 78,8                     | 0,001028             | <b>6,5</b>          |
| 3       | 4431,33      | 3833,10       | 689,48                       | 80,1                     | 0,001029             | <b>5,4</b>          |

(Fuente: Autores)

### 3.2.3.1.3. Entalpía del vapor de salida y del agua de alimentación

**Tabla 3.14.** Entalpía del vapor de salida en función de la presión absoluta.

| Caldera | Presión manométrica [PSI] | Presión manométrica [kPa] | Presión atmosférica [kPa] | Presión Absoluta [kPa] | Entalpía [kJ/kg] |
|---------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|------------------|
| 1       | 88,0                      | 606,74                    | 71,77                     | 678,51                 | <b>2761,4</b>    |
| 2       | 95,0                      | 655,00                    | 71,77                     | 726,77                 | <b>2764,4</b>    |
| 3       | 100,0                     | 689,48                    | 71,77                     | 761,25                 | <b>2766,3</b>    |

(Fuente: Autores)

**Tabla 3.15.** Entalpía del agua de alimentación en función de su temperatura.

| Caldera | Temperatura ingreso [°C] | Entalpía [kJ/kg] |
|---------|--------------------------|------------------|
| 1       | 80,0                     | <b>335,02</b>    |
| 2       | 78,8                     | <b>329,98</b>    |
| 3       | 80,1                     | <b>335,44</b>    |

(Fuentes: Autores)

### 3.2.3.1.4. Factor de corrección de tiempo

**Tabla 3.16.** Factor de corrección de tiempo.

| Caldera | Tiempo encendido [s] | Tiempo apagado [s] | Tiempo total [s] | Factor tiempo |
|---------|----------------------|--------------------|------------------|---------------|
| 1       | 1237,82              | 7691,72            | 8929,54          | <b>0,139</b>  |
| 2       | 2804,00              | 6149,00            | 8953,00          | <b>0,313</b>  |
| 3       | 2737,97              | 5906,39            | 8644,36          | <b>0,317</b>  |

(Fuente: Autores)

### 3.2.3.1.5. Eficiencia de las calderas método directo

**Tabla 3.17.** Eficiencia de las calderas método directo.

| Caldera | qvc [W] | qcc [W] | Eficiencia [%] |
|---------|---------|---------|----------------|
| 1       | 3508,7  | 4315,0  | <b>81,31</b>   |
| 2       | 4922,7  | 5999,1  | <b>82,06</b>   |
| 3       | 4159,8  | 4967,0  | <b>83,75</b>   |

(Fuente: Autores)

La caldera con mayor eficiencia es la 3 (Columbia), pero la caldera que mayor flujo de calor de vapor genera es la 2.

Todos los resultados se obtuvieron con las ecuaciones (Ec. 2.11.) a la (Ec. 2.20.) explicadas de manera detallada en el apartado 2.2.32.2.3.1. Los datos experimentales de temperatura, así como cálculos adicionales no presentados en las tablas mostradas se encuentran en el Anexo 8.

### 3.2.3.2. Eficiencia de las calderas método indirecto

En la Tabla 3.18 a la Tabla 3.22 se muestran todos los resultados de las diferentes pérdidas que permiten calcular la eficiencia de las calderas por el método indirecto.

#### 3.2.3.2.1. Pérdidas de calor sensible en chimena

**Tabla 3.18.** Pérdidas de calor sensible.

| Caldera | f. corrección | K <sub>1</sub> | Tg [°C] | Too [°C] | CO <sub>2</sub> [%] | Pqa [%]      |
|---------|---------------|----------------|---------|----------|---------------------|--------------|
| 1       | 1,41          | 0,58           | 245,2   | 20,0     | 9,7                 | <b>19,04</b> |
| 2       | 1,41          | 0,60           | 270,2   | 20,0     | 11,8                | <b>17,81</b> |
| 3       | 1,41          | 0,59           | 253,1   | 20,0     | 11,3                | <b>17,24</b> |

(Fuente: Autores)

#### 3.2.3.2.2. Pérdidas de calor por combustión incompleta

**Tabla 3.19.** Pérdidas de calor por combustión incompleta.

| Caldera | f. corrección | K <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> [%] | CO [%] | Pqb [%]      |
|---------|---------------|----------------|---------------------|--------|--------------|
| 1       | 1,41          | 95             | 9,7                 | 0,0010 | <b>0,014</b> |
| 2       | 1,41          | 95             | 11,8                | 0,0022 | <b>0,025</b> |
| 3       | 1,41          | 95             | 11,3                | 0,0010 | <b>0,012</b> |

(Fuente: Autores)



### 3.2.3.2.3. Pérdidas de calor por convección y radiación

Tabla 3.20. Pérdidas de calor por convección y radiación.

| Caldera | Flujo comb. [kg/s] | PCI [kJ/kg] | Calor calderas [kW] | Pqcr [%]     |
|---------|--------------------|-------------|---------------------|--------------|
| 1       | 0,109              | 39700       | 11,71               | <b>0,271</b> |
| 2       | 0,151              | 39700       | 16,62               | <b>0,277</b> |
| 3       | 0,125              | 39700       | 13,50               | <b>0,272</b> |

(Fuente: Autores)

### 3.2.3.2.4. Pérdidas de calor por purgas

Tabla 3.21. Pérdidas de calor por purgas.

| Caldera | Flujo másico H <sub>2</sub> O [kg/s] | Flujo másico bunker [kg/s] | PCI [kJ/kg] | Entalpía purga [kJ/kg] | Entalpía agua alimen [kJ/kg] | Pqd [%]       |
|---------|--------------------------------------|----------------------------|-------------|------------------------|------------------------------|---------------|
| 1       | 1,46                                 | 0,109                      | 39700       | 691,44                 | 335,02                       | <b>0,0336</b> |
| 2       | 1,04                                 | 0,151                      | 39700       | 703,55                 | 329,98                       | <b>0,0180</b> |
| 3       | 1,23                                 | 0,125                      | 39700       | 706,62                 | 335,44                       | <b>0,0256</b> |

(Fuente: Autores)

### 3.2.3.2.5. Eficiencia de las calderas método indirecto

Tabla 3.22. Eficiencia de las calderas método indirecto.

| Caldera | Calor Sensible Pqa [%] | Calor por comb. Incom Pqb [%] | Calor por convec y radi Pqcr [%] | calor por purgas Pqd [%] | Eficiencia [%] |
|---------|------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------|----------------|
| 1       | 19,04                  | 0,014                         | 0,271                            | 0,0336                   | <b>80,64</b>   |
| 2       | 17,81                  | 0,025                         | 0,277                            | 0,0180                   | <b>81,87</b>   |
| 3       | 17,24                  | 0,012                         | 0,272                            | 0,0256                   | <b>82,46</b>   |

(Fuente: Autores)

Al igual que la eficiencia por método directo, la caldera 3 posee la mayor eficiencia de todas.

Todas las pérdidas, así como la eficiencia se obtuvo mediante las ecuaciones (Ec. 2.21.) a la (Ec. 2.30.) explicadas de manera detallada en el apartado 2.2.3.2. Los datos de temperatura, así como el análisis de gases y otros parámetros no presentados en las tablas de resultados se encuentran en el Anexo 8.

### 3.2.4. Efectividad de los intercambiadores de calor

De la Tabla 3.23 a la Tabla 3.25 se muestra el resultado de los parámetros principales de operación de los intercambiadores de calor que permiten el cálculo de la efectividad de estos.

### 3.2.4.1. Calor transferido en el intercambiador

**Tabla 3.23.** Calor transferido en el intercambiador.

| Nº | Máquina   | Tin [°C] | Tout [°C] | Tp [°C] | Densidad [kg/m³] | Cp [J/kg K] | Flujo másico [kg/s] | qhx [W]         |
|----|-----------|----------|-----------|---------|------------------|-------------|---------------------|-----------------|
| 1  | Brazzoli  | 61,7     | 131,1     | 96,4    | 960,50           | 4213,4      | 1,924               | <b>562463,5</b> |
| 2  | AKM       | 61,3     | 130,9     | 96,1    | 960,71           | 4213,1      | 2,034               | <b>595794,6</b> |
| 3  | AKM       | 61,4     | 131,0     | 96,2    | 960,64           | 4213,2      | 2,026               | <b>594273,6</b> |
| 4  | Thies     | 60,5     | 130,1     | 95,3    | 961,28           | 4212,3      | 2,097               | <b>614984,5</b> |
| 5  | Thies     | 61,0     | 130,3     | 95,6    | 961,07           | 4212,6      | 2,101               | <b>613726,3</b> |
| 6  | Thies     | 60,7     | 130,4     | 95,5    | 961,14           | 4212,5      | 2,107               | <b>618726,8</b> |
| 7  | MSC Italy | 61,0     | 131,3     | 96,2    | 960,64           | 4213,2      | 2,065               | <b>611805,5</b> |
| 8  | Then      | 60,7     | 131,9     | 96,3    | 960,56           | 4213,3      | 2,012               | <b>603181,8</b> |

(Fuente: Autores)

### 3.2.4.2. Temperatura de entrada del vapor a los intercambiadores de calor

**Tabla 3.24.** Temperatura de entrada del vapor.

| Nº | Máquina   | Tin vapor suposición [C] | Tin vapor primera [C] | Tin vapor segunda [C] | Tin vapor tercera [C] |
|----|-----------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1  | Brazzoli  | 160,2                    | 147,2                 | 147,8                 | 147,7                 |
| 2  | AKM       | 161,4                    | 148,1                 | 148,7                 | 148,6                 |
| 3  | AKM       | 160,9                    | 147,7                 | 148,3                 | 148,3                 |
| 4  | Thies     | 163,1                    | 148,1                 | 148,5                 | 148,5                 |
| 5  | Thies     | 163,1                    | 148,1                 | 148,5                 | 148,5                 |
| 6  | Thies     | 161,1                    | 147,6                 | 148,2                 | 148,1                 |
| 7  | MSC Italy | 161,7                    | 148,3                 | 148,8                 | 148,8                 |
| 8  | Then      | 161,7                    | 148,4                 | 148,9                 | 148,9                 |

(Fuente: Autores)

### 3.2.4.3. Efectividad de los intercambiadores de calor

**Tabla 3.25.** Efectividad de los intercambiadores de calor.

| Nº | Máquina  | Tin vapor [°C] | Tin mezcla [°C] | Tout mezcla [°C] | Efectividad [%] |
|----|----------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 1  | Brazzoli | 147,7          | 61,7            | 131,1            | <b>80,7%</b>    |
| 2  | AKM 1    | 148,6          | 61,3            | 130,9            | <b>79,6%</b>    |
| 3  | AKM 2    | 148,3          | 61,4            | 131,0            | <b>80,2%</b>    |

(Fuente: Autores)

**Tabla 3.26.** Continuación Tabla 3.25.

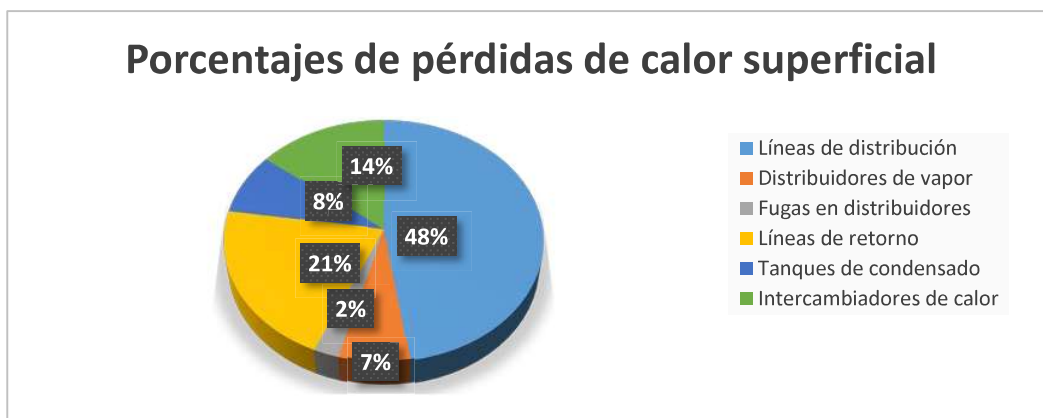
| Nº | Máquina   | Tin vapor [°C] | Tin mezcla [°C] | Tout mezcla [°C] | Efectividad [%] |
|----|-----------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 4  | Thies     | 148,5          | 60,5            | 130,1            | <b>79,1%</b>    |
| 5  | Thies     | 148,5          | 61,0            | 130,3            | <b>79,2%</b>    |
| 6  | Thies     | 148,1          | 60,7            | 130,4            | <b>79,7%</b>    |
| 7  | MSC Italy | 148,8          | 61,0            | 131,3            | <b>80,1%</b>    |
| 8  | Then      | 148,9          | 60,7            | 131,9            | <b>80,7%</b>    |

(Fuente: Autores)

La efectividad promedio de los intercambiadores de calor es del 80%, dicho valor es muy cercano para cada máquina, porque la efectividad depende de un rango de temperatura que es semejante para todas las máquinas de tinturación. Todos los resultados fueron obtenidos mediante las ecuaciones (Ec. 2.21.) a la (Ec. 2.30.) explicadas de manera detallada en el apartado 2.2.4. Además, hay que recalcar que la obtención de la temperatura de entrada de vapor fue realizada mediante un modelo matemático que se muestra en diagrama de flujo en la Figura 2.40. Los datos medidos de temperatura, flujos y otros cálculos adicionales no mostrados en las tablas se encuentran en el Anexo 8.

### 3.2.5. Análisis de los resultados obtenidos en la auditoría energética detallada

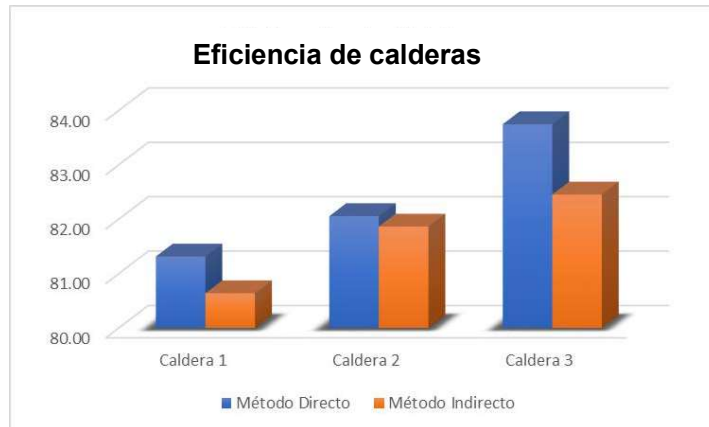
1. La pérdida de calor total en la superficie de los componentes de los sistemas es de 93,46 [kW], y las pérdidas más críticas se encuentran en: líneas de distribución, líneas de retorno e intercambiadores de calor, como se observa en la Figura 3.1.



**Figura 3.1.** Porcentajes de pérdidas de calor superficial.  
(Fuente: Autores)

2. La eficiencia de las tres calderas está en un promedio del 81%, valor muy aceptable considerando que estas son de baja eficiencia y un rango óptimo de trabajo en

rendimiento para estas es [75 – 85]% [4], por lo tanto no es necesario una acción de mejora a implementar, cabe destacar que los valores de eficiencia en cada caldera fueron obtenidos por dos métodos diferentes teniendo resultados muy similares en ambos quedando estos validados, tal como se muestra en la Figura 3.2.



**Figura 3.2.** Comparación de eficiencias de calderas.  
(Fuente: Autores)

- La efectividad de los intercambiadores de calor en cada una de las ocho máquinas tinturadoras, está en promedio en 80%. Dichos intercambiadores son de tubos y corazas. Manuales de diseño de intercambiadores de calor y libros de transferencia de calor, como Incropera, señalan que la efectividad mínima de este tipo de intercambiadores es del 60% y la máxima del 100% [25], por lo tanto, no es necesaria una acción de mejora en estos, ya que la efectividad determinada se encuentra dentro de este rango tal como se muestra en la Figura 3.3.



**Figura 3.3.** Efectividad de intercambiadores de calor  
(Fuente: Autores)

Además, cualquier propuesta de mejora repercutiría directamente en las temperaturas, mismas que no pueden ser variadas debido a condiciones operacionales.

### 3.3. Costos

Se presentan los gastos económicos que representa la producción de energía térmica.

#### 3.3.1. Costos energéticos

En la Tabla 3.27 y Tabla 3.28 se muestran los resultados del costo de generación de vapor y el resumen del flujo de dinero que provocan las pérdidas de calor en cada uno de los componentes del sistema.

##### 3.3.1.1. Costo de la generación de vapor

El valor del precio de combustible es tomado de EP PETROECUADOR GERENCIA DE COMERCIALIZACIÓN NACIONAL [28].

**Tabla 3.27.** Precio de la generación de vapor.

| Caldera         | Pcomb<br>[USD./Gal.comb] | Pcomb<br>[USD./kg.comb] | Eficiencia<br>[%] | Entalpía vapor<br>[kJ/kg.vapor] | Entalpía H <sub>2</sub> O<br>[kJ/kg.vapor] | PCI<br>[kJ/kg.comb] | Pvapor<br>[USD./kJ] |
|-----------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1               | 1,253461                 | 0,359                   | 80,64             | 2761,4                          | 335,02                                     | 39700               | 9,847E-06           |
| 2               | 1,253461                 | 0,359                   | 81,87             | 2764,4                          | 329,98                                     | 39700               | 9,721E-06           |
| 3               | 1,253461                 | 0,359                   | 82,46             | 2766,3                          | 335,44                                     | 39700               | 9,630E-06           |
| <b>Promedio</b> |                          |                         |                   |                                 |                                            |                     | <b>9,733E-06</b>    |

(Fuente: Autores)

Se toma un valor promedio debido a que las tres calderas se encuentran interconectadas mediante los distribuidores de vapor.

##### 3.3.1.2. Costo de pérdidas de energía al año

**Tabla 3.28.** Costo de pérdidas de energía al año.

| Pérdidas de calor<br>superficiales | Calor<br>[W]    | Calor<br>[kJ/s] | Precio vapor<br>[USD./kJ] | Costo<br>[USD./año] |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------------|
| Líneas de distribución             | 44511,80        | 44,51           | 9,733E-06                 | <b>\$13.661,99</b>  |
| Distribuidores de vapor            | 6123,25         | 6,12            | 9,733E-06                 | <b>\$1.879,41</b>   |
| Fugas en distribuidores            | 2207,70         | 2,21            | 9,733E-06                 | <b>\$677,61</b>     |
| Líneas de retorno                  | 19536,19        | 19,54           | 9,733E-06                 | <b>\$5.996,24</b>   |
| Tanques de condensado              | 7648,87         | 7,65            | 9,733E-06                 | <b>\$2.347,67</b>   |
| Intercambiadores de calor          | 13433,60        | 13,43           | 9,733E-06                 | <b>\$4.123,17</b>   |
| <b>TOTAL</b>                       | <b>93461,40</b> | <b>93,46</b>    | <b>9,733E-06</b>          | <b>\$28.686,08</b>  |

(Fuente: Autores)

Los resultados de estos parámetros fueron determinados con las ecuaciones (Ec. 2.45.) a la (Ec. 2.48.) explicadas de forma detallada en el apartado 3.2.5. El cálculo desglosado

de pérdidas de dinero por pérdidas de calor en cada uno de los componentes de los sistemas se encuentra en el Anexo 8.

Adicionalmente, la localización del mayor costo de pérdida de energía se encuentra en las líneas de distribución de vapor como se observa en la Tabla 3.28.

### **3.4. Propuestas de mejora**

Son todas las acciones implantadas para generar un ahorro de energía.

#### **3.4.1. Propuestas de mejora a implementarse**

Como se analizó en el apartado 3.2.5, estas recaen sobre las pérdidas de calor en las superficies de los componentes, y son las siguientes:

1. Colocar aislante térmico en todas las líneas de distribución de vapor sin este.
2. Cambiar el aislante térmico en mal estado en los distribuidores de vapor.
3. Colocar aislante térmico en las líneas de retorno de condensado.
4. Colocar aislante térmico en los tanques de condensado.
5. Colocar aislante térmico en los intercambiadores de calor.
6. Reparar fugas de vapor en las válvulas de paso de los distribuidores.

A continuación, se analiza de manera técnica y financiera cuanto ahorro genera implementar aislante térmico, debido a que es la principal acción de mejora.

#### **3.4.2. Ahorro producido por las propuestas de mejora**

Primero se debe encontrar un factor que indique el ahorro de energía y posterior a esto determinar el ahorro en dólares que se produce al implementar las acciones de mejora.

##### **3.4.2.1. Factor de ahorro**

Para determinar el factor de ahorro que implica colocar aislante térmico se compara el flujo de calor en una de las líneas de distribución en un tramo con aislante y otro sin este.

El flujo de calor para este análisis es determinado mediante las ecuaciones del apartado 2.2.1 y el análisis es realizado en la interconexión 4-8 en los tramos d26 - d29 y d29 - d30, posterior a esto se realiza un análisis porcentual mediante la ecuación Ec. 3.1 para determinar el factor de ahorro y los resultados se muestran en la Tabla 3.29.

$$\text{Factor ahorro} = \left( 1 - \frac{q_{cr}(\text{con aislamiento})}{q_{cr}(\text{sin aislamiento})} \right) * 100 [\%]$$

(Ec. 3.1)

**Tabla 3.29.** Factor de ahorro para aislante térmico.

| Interconexión 4--8 | Tramo   | Diámetro [m] | Tsup [°C] | Tamb [°C] | hcr [W/m2K] | qcr [W] | Porcentaje [%] | Factor Ahorro [%] | Factor Ahorro |
|--------------------|---------|--------------|-----------|-----------|-------------|---------|----------------|-------------------|---------------|
| Con aislamiento    | d29-d30 | 0,10         | 40,0      | 28,7      | 9,49        | 10,10   | 9,71           | <b>90,29</b>      | <b>0,9029</b> |
| Sin aislamiento    | d26-d29 | 0,05         | 156,5     | 28,7      | 17,27       | 104,01  | 100,00         |                   |               |

(Fuente: Autores)

Por lo tanto, el factor de ahorro para el aislante térmico es de 0,9029. Además, el factor de ahorro para las fugas de vapor se considera el mismo valor para el aislante térmico debido a que es una buena aproximación para la reparación de fugas.

### 3.4.2.2. Ahorro por las propuestas de mejora

Mediante el factor de ahorro se procede a determinar la cantidad de dinero ahorrada al mes y al año, multiplicando este por el costo de las pérdidas de calor. Los resultados se muestran en la Tabla 3.30.

**Tabla 3.30.** Ahorro anual dado por propuestas de mejora.

| Pérdidas de calor superficiales | Calor [W] | Costo [USD./año] | Costo [USD./mes] | Propuesta de mejora | Factor de ahorro | Ahorro [USD./año] | Ahorro [USD./mes] |
|---------------------------------|-----------|------------------|------------------|---------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Líneas de distribución          | 44511,80  | \$13.661,99      | \$1.138,50       | Aislar              | 0,9029           | \$12.334,88       | \$1.027,91        |
| Distribuidores de vapor         | 6123,25   | \$1.879,41       | \$156,62         | Aislar              | 0,9029           | \$1.696,84        | \$141,40          |
| Fugas en distribuidores         | 2207,70   | \$677,61         | \$56,47          | Reparar             | 0,9029           | \$611,79          | \$50,98           |
| Líneas de retorno               | 19536,19  | \$5.996,24       | \$499,69         | Aislar              | 0,9029           | \$5.413,77        | \$451,15          |

(Fuente: Autores)

**Tabla 3.31.** Continuación Tabla 3.30.

| Pérdidas de calor superficiales | Calor [W] | Costo [USD./año] | Costo [USD./mes] | Propuesta de mejora | Factor de ahorro | Ahorro [USD./año]  | Ahorro [USD./mes] |
|---------------------------------|-----------|------------------|------------------|---------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| Tanques de condensado           | 7648,87   | \$2.347,67       | \$195,64         | Aislar              | 0,9029           | \$2.119,62         | \$176,63          |
| Intercambiadores de calor       | 13433,60  | \$4.123,17       | \$343,60         | Aislar              | 0,9029           | \$3.722,65         | \$310,22          |
|                                 |           |                  |                  |                     | <b>Total</b>     | <b>\$25.899,54</b> | <b>\$2.158,30</b> |

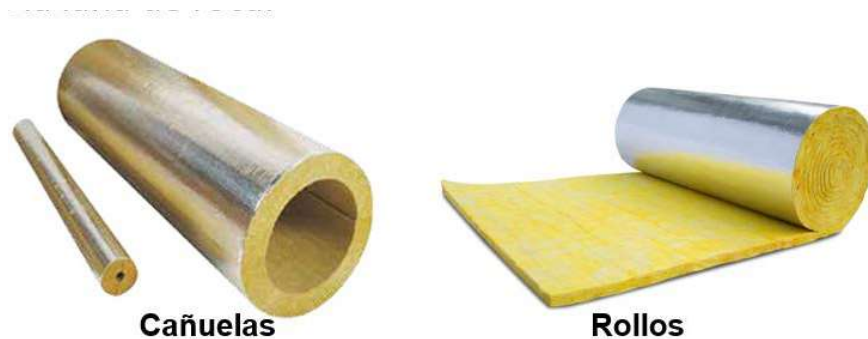
(Fuente: Autores)

Por lo tanto, el flujo de dinero ahorrado al año al implementar las propuestas de mejora es de 25899,54 [USD./año] y 2158,30 [USD./mes].

### 3.4.3. Inversión para implementar propuestas de mejora

Es el dinero requerido para la compra e implementación de las propuestas de mejora. Para el caso de estudio, se debe adquirir aislante térmico para altas temperaturas, mismo que fue cotizado en algunas casas comerciales de material industrial y donde se destaca dos tipos: aislante de lana de vidrio y de lana de roca.

Se elige el aislante de lana de vidrio, debido a que es más económico que el de lana de roca.



**Figura 3.4.** Presentación del aislante térmico  
(Fuente: [29])

El aislante es adquirido en dos tipos de presentación debido a la aplicabilidad: en cañuelas y en rollos tal como se muestra en la Figura 3.4. En la Tabla 3.32 se muestra el precio de cada una de sus presentaciones, de acuerdo a la cotización por la Empresa DISETEC Soluciones Industriales, que se muestra en el Anexo 9.



**Tabla 3.32.** Precio de compra de aislante térmico.

| Aislante térmico | Diámetro [plg] | Espesor [mm] | Precio [USD./m] |
|------------------|----------------|--------------|-----------------|
| En cañuelas      | 1,5            | 10           | \$5,54          |
|                  | 2              | 10           | \$6,77          |
|                  | 2,5            | 20           | \$7,02          |
|                  | 3              | 20           | \$7,38          |
|                  | Área [m²]      | Espesor [mm] | Precio [USD.]   |
| En rollos        | 1              | 15           | \$4,90          |

(Fuente: Anexo 9)

En el Anexo 10 se encuentra de manera detallada la inversión para cada una de las propuestas de mejora obtenida a partir del precio del aislante térmico. En la Tabla 3.33 se muestra en resumen el valor total de cada inversión.

**Tabla 3.33.** Inversión de propuestas de mejora.

| Pérdidas de calor superficiales | Propuesta de mejora | Inversión [USD.]  |
|---------------------------------|---------------------|-------------------|
| Líneas de distribución          | Aislar              | <b>\$813,35</b>   |
| Distribuidores de vapor         | Aislar              | <b>\$14,62</b>    |
| Fugas en distribuidores         | Reparar             | <b>\$0,00</b>     |
| Líneas de retorno               | Aislar              | <b>\$915,86</b>   |
| Tanques de condensado           | Aislar              | <b>\$65,12</b>    |
| Intercambiadores de calor       | Aislar              | <b>\$79,50</b>    |
| Mano de obra                    | Ejecución           | <b>\$1.400,00</b> |
|                                 | <b>Total</b>        | <b>\$3.288,45</b> |

(Fuente: Autores)

Existe un valor adicional correspondiente a la mano de obra, debido a que el personal para la ejecución de la propuesta debe de estar capacitado para realizar esta operación.

La inversión para las fugas de vapor en válvulas de los distribuidores no se considera, debido a que estas pueden ser reparadas por el personal de mantenimiento de la empresa.

Por lo tanto, la inversión para ejecutar las propuestas de mejora es de 3288,45 [USD.].

#### **3.4.4. Análisis financiero de las propuestas de mejora**

Los indicadores financieros para evaluar son: el TRC, VAN y la TIR, y se obtienen mediante la ecuación (Ec. 2.49.) a la (Ec. 2.51.) (ver Anexo 11) y los resultados se muestran en la Tabla 3.34.

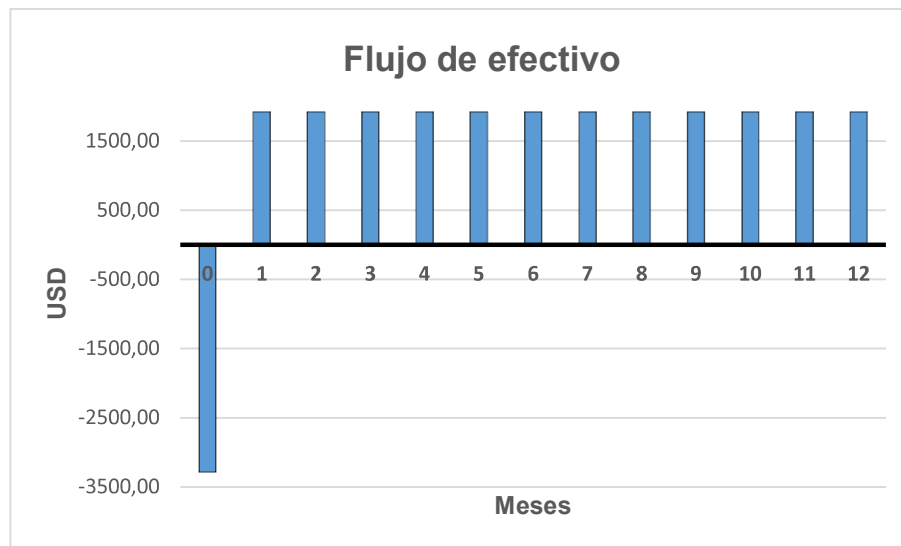
La tasa de interés referencial en el Ecuador para inversiones en el sector privado de pequeñas y medianas industrias es igual al 9,45% anual [30].

**Tabla 3.34.** Indicadores financieros de propuestas de mejora.

|                                      |             |
|--------------------------------------|-------------|
| Tasa de interés anual [%]            | 9,45%       |
| Tasa de interés mensual [%]          | 0,79%       |
| Inversión Inicial [USD.]             | \$3.288,45  |
| VAN [USD.] (tiempo de análisis 1año) | \$18.683,68 |
| TIR mensual [%]                      | 33 %        |
| TIR anual [%]                        | 396 %       |
| TRC [mes]                            | 2           |

(Fuente: Autores)

Adicionalmente, en la Figura 3.5 se muestra el diagrama de flujo de efectivo realizado para obtener los indicadores financieros y en el Anexo 12 se muestra el flujo de efectivo desglosado.



**Figura 3.5.** Flujo de efectivo.

(Fuente: Autores)

Analizando los resultados de los indicadores financieros se obtuvo que el capital de las inversiones se recupera en un lapso de 2 meses. Por otra parte, el VAN es positivo y la TIR es mayor que la tasa de interés (396 % >9,45 %). Por lo tanto, las propuestas de mejora a implementarse son viables y factibles para ser ejecutadas.

### 3.4.5. Otras propuestas de mejora

Existen otras alternativas para solucionar las pérdidas de energía térmica y que pueden ser implementadas:

- Instalación de calderas de alta eficiencia (Eficiencia >90%).
- Instalación de tanques de purgas para las calderas.
- Instalación de intercambiadores de calor con mayor área de transferencia.

- Cambio de válvulas de paso en distribuidores de vapor.

Estas propuestas repercuten en parámetros como: consumo de combustible, consumo de vapor, consumo de agua, tiempo de operación y productividad, mismos que para el caso de estudio no representan una pérdida crítica.

A pesar de que los sistemas de generación de vapor y tinturación presentan una eficiencia dentro de un rango de trabajo óptimo, se realizó el análisis técnico financiero de reemplazar una caldera por una de mayor eficiencia térmica.

#### **3.4.5.1. Reemplazo de caldera por caldera de alta eficiencia.**

Esta propuesta consiste en reemplazar la caldera de menor eficiencia (caldera 1 ver Figura 3.2) y recae directamente en el consumo de combustible como se observa en las ecuaciones de eficiencia por el método directo (Ec. 2.11), (Ec. 2.12), y (Ec. 2.13). Donde existe una relación inversamente proporcional entre el consumo de combustible y la eficiencia de una caldera.

La metodología para implementar esta propuesta es la siguiente:

1. Cotizar una caldera de alta eficiencia comprendida entre 90 – 95% y que presente características similares a la instaladas actualmente en Intela. La cotización fue realizada a la empresa MASUSA (Ver Anexo 13).
2. Mediante la eficiencia (95%) y la ecuación del método directo se determina el flujo másico de combustible óptimo.
3. Mediante el precio de combustible, se determina el gasto que representa el consumo de combustible óptimo.
4. Se obtiene el flujo mensual multiplicando por el tiempo de operación de la caldera.
5. Se comparan ambos flujos de efectivo, y se determina la cantidad de dinero ahorrado.
6. Finalmente se realiza un flujo de caja proyectado a 10 años para determinar indicadores financieros que determinen si la propuesta es viable.

Los resultados se muestran en la Tabla 3.35 y el ahorro anual que generaría esta propuesta de mejora es de 17471,70 [USD.]

**Tabla 3.35.** Resultados propuesta de mejora (pm) cambio de caldera de alta eficiencia.

|                                           | <b>Caldera 1</b> | <b>Caldera (propuesta)</b> |
|-------------------------------------------|------------------|----------------------------|
| Calor vapor [W]                           | 3508,7           | 3508,7                     |
| PCI [kJ/kg]                               | 39700            | 39700                      |
| eficiencia                                | 0,81             | 0,95                       |
| Flujo combustible [kg/s]                  | 0,109            | 0,093                      |
| Densidad combustible [kg/m <sup>3</sup> ] | 923              | 923                        |
| Caudal comb [Gal (USA)/s]                 | 0,031            | 0,027                      |
| Precio comb. [USD./Gal.comb]              | \$1,25           | \$1,25                     |
| Costo comb. [USD. /s]                     | \$0,04           | \$0,03                     |
| Costo comb. [USD. /mes]                   | \$10.106,90      | \$8.650,93                 |
| Ahorro [USD. /mes]                        |                  | \$1.455,97                 |
| Ahorro [USD. /año]                        |                  | \$17.471,70                |

(Fuente: Autores)

Mediante el resultado de los indicadores financieros y el flujo de caja (Ver Anexo 14) se determina si la propuesta es viable. Los resultados se muestran en la Tabla 3.36.

**Tabla 3.36.** Indicadores financieros, cambio de caldera de alta eficiencia.

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| Tasa de interés anual         | 9,45%        |
| Tasa de interés mensual       | 0,79%        |
| Inversión Inicial             | \$130.000,00 |
| Tiempo de recuperación (años) | 8            |
| VAN                           | \$-20.059,83 |
| TIR                           | 6%           |

(Fuente: Autores)

Mediante los indicadores financieros de la Tabla 3.36, la propuesta de reemplazo de una caldera por una de alta eficiencia no es viable debido a que el valor del VAN es negativo y la TIR es menor que la tasa de interés anual. Además, una inversión rentable se pretende recuperar en un plazo máximo de 5 años y para el caso de estudio es de 8 años. La propuesta podría ser rentable si las calderas tuvieran una eficiencia menor.

### **3.5. Manual de implementación de mejoras para el sistema de tinturación y calderas de Intela basado en la norma ISO 50001**

Mediante la información y valores de la auditoría energética preliminar y detallada, respectivamente, se realiza un manual de implementación de las mejoras propuestas del apartado 3.4.1 en base a la norma ISO 50001. El manual de implementación se muestra en el Anexo 15.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- La auditoría energética preliminar es una herramienta viable para calificar el estado actual de todos los componentes de un sistema energético, debido a que es una inspección de campo, donde se aprecia las posibles zonas críticas por donde se tienen pérdidas de energía. Por otra parte, la auditoría energética detallada es una herramienta más eficaz y precisa, para determinar el estado energético de un sistema porque utiliza leyes físicas y parámetros de forma numérica, que permiten plantear un balance energético.
- Las pérdidas por la chimenea en las calderas dependen del factor de combustible que se obtiene experimentalmente para presión a nivel del mar. Para el caso de estudio se obtuvo un factor de ajuste igual a 1,41, que modifica las correlaciones para obtener las pérdidas en la chimenea a presión del lugar de trabajo de las calderas. Este factor es relevante para la obtención de la eficiencia de las calderas por método indirecto y se debe considerar para cuando se realicen trabajos similares en lugares donde la presión atmosférica es diferente a la presión a nivel del mar.
- Las eficiencias térmicas de las calderas son 81%, 82%, y 83% respectivamente, y fueron obtenidos por dos métodos distintos (indirecto y directo) que difieren en resultado del 1%. Además, dichos métodos se enfocan en distintos parámetros de trabajo de las calderas, y en trabajos similares normalmente no han sido desarrollados al mismo tiempo.
- El método numérico desarrollado en el apartado 2.2.4.6 se constituye en una herramienta para estimar la temperatura de entrada de vapor al intercambiador de calor, cuando el equipo ni el auditor poseen la instrumentación adecuada para medir este parámetro. Esta temperatura es indispensable para analizar la efectividad de los intercambiadores de calor.
- La efectividad de los intercambiadores de calor depende directamente de las temperaturas del proceso de tinturación, como se muestra en la ecuación (Ec.

2.37). La efectividad promedio de los intercambiadores es del 80%, por lo tanto, las máquinas de tinturación se encuentran trabajando de manera adecuada.

- Las pérdidas de calor en las superficies de los componentes (líneas de distribución, distribuidores, tanques de condensado, líneas de retorno de condensado e intercambiadores de calor) fueron determinadas mediante un análisis de transferencia de calor, específicamente considerando los fenómenos de radiación y convección natural. La mayor pérdida de energía es de 44,5 [kW] y se encuentra en las líneas de distribución de vapor que no poseen aislante térmico. Además, esta pérdida representa el 48% de las pérdidas totales de energía por la superficie de los componentes.
- El aislante térmico reduce las pérdidas de calor en un 90% según lo calculado en el apartado 3.4.2. Se plantea una propuesta de mejora invirtiendo aproximadamente \$3.300. Por lo tanto, la inversión generará un ahorro aproximado de \$26.000 al año, y se recuperará en 2 meses.
- Reemplazar una caldera por una de eficiencia igual a 95%, reduce el flujo de combustible de 0,031 a 0,027 [Gal (USA)/s]. Además, mediante una inversión de \$130.000,00 se generará un ahorro de \$17.471,70 y se recuperará en 8 años.
- Los indicadores financieros VAN y TIR, son iguales a \$18683,68 y 33% respectivamente, y demuestran la rentabilidad de inversión en la propuesta de mejora de instalación de aislante térmico y reparación de fugas. Por otra parte, el VAN y TIR, iguales a \$-20.059,83 y 6% respectivamente, indican que no es rentable la propuesta de instalación de caldera por una de alta eficiencia.
- La norma ISO 50001, es importante para la elaboración de un manual de implementación de mejoras de forma técnica y financiera. Debido a los parámetros en los que basa su implementación.

## **4.2. Recomendaciones**

- Sería importante evaluar las instalaciones una vez que hayan sido implementadas las propuestas de mejora, debido a que la norma ISO 50001 exige un seguimiento continuo, y permitiría la comprobación de las propuestas de este trabajo.

- Dentro de un sistema de generación de vapor, se debe dar gran importancia a las líneas de distribución de vapor y de retorno de condensado, debido a que estas generan grandes pérdidas de energía térmica si no se encuentran aisladas y no se han mantenido adecuadamente.
- Una purga correcta de las calderas en horarios establecidos generará un menor desperdicio de energía y proporcionará un mejor mantenimiento de las mismas, debido a que elimina constantemente impurezas encontradas en el agua.
- No utilizar telas producidas por la empresa como aislante térmico debido a que esta no presenta las condiciones adecuadas para aislar calor, y podría generar accidentes laborales como quemaduras en el personal operativo.
- Los parámetros eléctricos de bombas de alimentación de un fluido, son una herramienta importante para obtener el flujo que produce a bomba, siempre que los mismos sean comprobados y medidos.
- Es recomendable calcular las pérdidas por radiación y convección mediante dos correlaciones distintas, para validar los valores de los mismos.
- El sistema de gestión energética debe ser llevado a cabo por todos los miembros que conforman la empresa para poder implementarlo de una forma correcta y adecuada con el apoyo de la gerencia.
- Se recomienda realizar un análisis de cargas en todas las máquinas eléctricas que intervienen en el proceso de producción mediante un analizador de redes.
- Se recomienda realizar la auditoría energética a los sistemas no auditados en el presente estudio de trabajo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Intel, "Intel." [En línea]. Disponible en: <http://www.intel.com.ec/#Aboutus>. [Recuperado: 29-Nov-2017].
- [2] M. Clark, *Fundamental principles of dyeing*, vol. 1. Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [3] G. P. Nair, *Methods and machinery for the dyeing process*, vol. 1. Woodhead Publishing Limited, 2011.
- [4] A. L. KOHAN, *MANUAL DE CALDERAS*, 4ta Edición. Madrid: McGRAW-HILL, 2000.
- [5] J. Uceda, "Calderas Industriales Eficientes," *Calderas*, p. 162, 2012.
- [6] SPIRAXSARCO, *Calderas y accesorios*. Madrid. Disponible en: <http://www.spiraxsarco.com/global/es/Products/Pages/home.aspx>. [Recuperado: 15-Ago-2018].
- [7] J. L. Palacios, A. Peña, and V. Hidalgo, "Técnicas de Gestión Energética en Sistemas de Vapor," vol. 35, no. 3, 2015.
- [8] M. Matteini y V. I. Centre, *Manual de capacitación en Optimización de sistemas de vapor industrial ( OSV )*. 2014.
- [9] U.S. Department of Energy, "Steam Trap Performance Assessment," *Fed. Energy Manag. Progr.*, no. July, pp. 1–25, 1999.
- [10] Ç. Yunus A y G. Afshin J, "Introducción y conceptos básicos," *Transf. calor y masa*, pp. 1–47, 2011.
- [11] S. Spirax, "Válvulas reductoras de presión pilotadas," 2013. Disponible en: <http://www.spiraxsarco.com/global/es/Products/Pages/home.aspx>. [Recuperado: 15-Ago-2018].
- [12] J. Rendón, "Reguladores de presión," p. 5, 2006. 2da Edición, Barcelona.
- [13] Spirax sarco, "Pressure reducing and surplussing valves," 2013. Disponible en: <http://www.spiraxsarco.com/global/es/Products/Pages/home.aspx>. [Recuperado: 15-Ago-2018].
- [14] S. Spirax, "Válvulas\_reductoras\_de\_presión\_de\_acción\_directa.pdf." 2013. Disponible en: <http://www.spiraxsarco.com/global/es/Products/Pages/home.aspx>.



[Recuperado: 15-Ago-2018].

- [15] CEH, “Procedimiento de auditorías energéticas en el sector industrial de la Comunidad de Madrid,” *Cons. Econ. y Hacienda*, 2009.
- [16] A. De Diagnósticos, E. Ese, y J. De, “Alcance de las Auditorías Energéticas Introducción.”
- [17] M. Oriente, “Filtros de vapor de Armstrong ( ASF ),” pp. 1–16.
- [18] S. Sarco, *DESIGN OF FLUIDS SYSTEM*. SpiraxSarco, 2017.
- [19] Ç. Yunus A, *Termodinámica*, Séptima ed. McGRAW-HILL, 2012.
- [20] Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador” publicado por el Ministerio del Ambiente en conjunto con el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables
- [21] E. STANDARDS, “Heating boilers - Part 5: Heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500 kW - Terminology, requirements, testing and marking,” p. 83, 2012.
- [22] ENERGUIA, “Cálculo de rendimientos de las calderas e instalaciones Prevención contra las condensaciones y corrosión del agua,” pp. 111–122, 2015.
- [23] A. L. KOHAN, “COMBUSTION, QUEMADORES, CONTROLES Y SISTEMAS DE SEGURIDAD DE LLAMA. PROCESO BASICO DE COMBUSTION,” in *Manual de calderas*, vol. Volumen II, MC GRAW HILL, 2000.
- [24] D. J. Cordero, *LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL*, vol. 41. 2004, pp. S18–S18.
- [25] F. P. Incropera and D. P. DeWitt, *Fundamentos de Transferencia de Calor*. 1999.
- [26] T. ENGINEERING, “Costo de Generación de Vapor,” *Therm. Eng.*, p. 4, 2017.
- [27] J. ERNEST F. HAEUSSLER, R. S. PAUL, y R. J. WOOD, *MATEMÁTICAS PARA ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA*, Decimosegu. México: PEARSON, 2008.
- [28] “Ep Petroecuador gerencia de comercializacion nacional,” no. 799, p. 993691, 2018.
- [29] “index @ www.disetec-ec.com.” .
- [30] B. Central del Ecuador, “Tasas de Interés,” 2019. [En línea]. Disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>.

- [31] F. M. White, J. P. Holman, y J. Lloyd, "Fluid Mechanics," *Refrig. Air Cond.*, vol. 6, no. 3, p. e18068, 2010.
- [32] J. P. HOLMAN, *TRANSFERENCIA DE CALOR*, Octava edi. México, 1999.