

## ÍNDICE

Capítulo I	1
1. Introducción	2
1.1 Antecedentes y motivación	4
1.2 Descripción del problema	5
1.3 Soluciones propuestas	5
1.4 Objetivo general	6
1.5 Objetivos específicos	6
1.6 Alcance del proyecto	6
1.7 Resultado esperados	7
Capítulo II	8
2. Marco teórico	9
2.1 Elementos de termodinámica	9
2.2 Elementos de mecánica de fluidos	10
2.3 Importancia del sistema de climatización	12
Capítulo III	14
3. Situación actual del sistema de climatización en la empresa	15
3.1 Operación del sistema de climatización para fines de calefacción	15
3.2 Operación del sistema de climatización para fines de refrigeración	17
3.3 Inventario de equipos existente en la planta	18
3.4 Estado de equilibrio de caudal de agua caliente y presión de los equipos y bombas de distribución	21
3.5 Estado de equilibrio de caudal de agua fría y bombas de distribución	24
3.6 Características de sistema de aislación de las tuberías	26

---

Capítulo IV	28
4. Implementación de mejoras del sistema de climatización	29
4.1 Resultado inspección visual	29
4.2 Resultado de la sumatoria de los caudales y presión de los equipos climatizadores y bomba de distribución de agua caliente	30
4.3 Solución del déficit de agua fría al sistema	33
4.4 Solución de aislación de tubería de alta y baja temperatura	37
Capítulo V	40
5. Evaluación económica de soluciones propuestas del sistema de climatización	41
5.1 Evaluación del sistema de agua caliente a través del menor costo	41
5.2 Evaluación del sistema de agua caliente a través del flujo de caja	43
Conclusiones	47
Bibliografía	49
Anexos	51

## ÍNDICE DE TABLAS

3.1 Ubicación, código (TAG), Marca/Modelo y equipos inspeccionados	19
3.2 Ubicación, código (TAG) y Marca/Modelo de los últimos equipos intercambiadores agua-aire instalados.	20
3.3 Presión medida a la entrada de algunos equipos climatizadores y a la salida de bomba 003 y 004.	21
3.4 Caudal medido a la entrada de algunos equipos de climatización.	22
4.1 Descripción de la cantidad de metros de tubería, el diámetro en pulgadas, el valor metro y el total por cada línea de agua fría.	36
4.2 Característica del filtro de agua de pozo, medida y precio mercado.	37
5.1 Comparación de Costos Totales	43
5.2 Flujos económicos para alternativa 2.	44
5.3 Flujos económicos para alternativa 3	45
5.4 Comparación de Parámetros de Evaluación Económica	45
<b>Anexos</b>	
A.1 Planilla de sumatoria de caudales de los equipos climatizadores industriales WITT del sistema de agua caliente versus caudales de las bombas de distribución.	51
A.2 Planilla de sumatoria de caudales de los equipos climatizadores industriales WITT del sistema de agua fría versus caudales de las bombas de distribución.	52
A.3 Planilla de característica de bombas utilizada en el sistema de agua caliente	53
A.4 Planilla de característica de bombas principales utilizada en el sistema de agua fría	53

A.5 Planilla de característica de bomba de emergencia utilizada en el sistema de agua fría, cuando baja el nivel de agua del sistema	54
A.9 Características de la lana mineral utilizada en la papelera.	59
A.10 Comportamiento de la conductividad térmica del aislante respecto de la temperatura.	59
A.11 Espesores recomendados según diámetro de tubería.	59
A.12 Espesor de película de pintura recomendado en micra.	60
A.14 Rugosidad absoluta de materiales.	61
A. 15 Valores del coeficiente (k) de pérdidas singulares.	62
A. 16 Propiedades físicas del agua.	63
A. 17 Tabla de cálculo de Reynolds dependiendo de los tramos de líneas de distribución para 30,6 m <sup>3</sup> /hr.	64
A.18 Tabla de rugosidad según sus diámetros para 30,6 m <sup>3</sup> /hr.	64
A.19 Tabla de coeficiente de fricción para 30,6 m <sup>3</sup> /hr.	65
A.20 Tabla de pérdida de carga del sistema de agua caliente para 30,6 m <sup>3</sup> /hr.	65
A. 21 Tabla de pérdida de cargas singulares de flujo de agua caliente para 30,6 m <sup>3</sup> /hr.	66
A.22 Tabla de pérdidas totales para 30,6 m <sup>3</sup> /hr.	66
A.23 Tabla de cálculos de Reynolds dependiendo de los tramos de líneas de distribución para caudal de 61 m <sup>3</sup> /hr.	67
A.24 Tabla de rugosidad según sus diámetros para caudal de 61 m <sup>3</sup> /hr.	67
A.25 Tabla de coeficientes de fricción para caudal de 61 m <sup>3</sup> /hr.	68
A.26 Tabla de pérdidas de carga del sistema de agua caliente para caudal de 61 m <sup>3</sup> /hr.	68
A.27 Tabla de pérdidas de carga singulares del flujo de agua caliente para caudal de 61 m <sup>3</sup> /hr.	69
A.28 Tabla de pérdidas totales para caudal de 61 m <sup>3</sup> /hr.	69

A.29 Tabla de cálculos de Reynolds dependiendo de los tramos de líneas de distribución para caudal de 54 m <sup>3</sup> /hr.	70
A.30 Tabla de rugosidad según sus diámetros para caudal de 54 m <sup>3</sup> /hr.	70
A.31 Tabla de coeficientes de fricción para caudal de 54 m <sup>3</sup> /hr.	71
A.32 Tabla de pérdidas de carga del sistema de agua caliente para caudal de 54 m <sup>3</sup> /hr.	71
A.33 Tabla de pérdidas de carga singulares del flujo de agua caliente para caudal de 54 m <sup>3</sup> /hr.	72
A.34 Tabla de pérdidas totales para caudal de 54 m <sup>3</sup> /hr.	72
A.35 Tabla de cálculos de Reynolds dependiendo de los tramos de líneas de distribución para caudal de 142 m <sup>3</sup> /hr.	73
A.36 Tabla de rugosidad según sus diámetros para caudal de 142 m <sup>3</sup> /hr.	73
A.37 Tabla de coeficientes de fricción para caudal de 142 m <sup>3</sup> /hr.	74
A.38 Tabla de pérdidas de carga del sistema de agua fría para caudal de 142 m <sup>3</sup> /hr.	74
A.39 Tabla de pérdidas de carga singulares del flujo de agua caliente para caudal de 142 m <sup>3</sup> /hr.	74
A.40 Tabla de pérdidas totales para caudal de 142 m <sup>3</sup> /hr.	75
A.41 Tabla de cálculos de Reynolds dependiendo de los tramos de líneas de distribución para caudal de 150 m <sup>3</sup> /hr.	75
A.42 Tabla de rugosidad según sus diámetros para caudal de 150 m <sup>3</sup> /hr.	75
A.43 Tabla de coeficientes de fricción para caudal de 150 m <sup>3</sup> /hr.	76
A.44 Tabla de pérdidas de carga del sistema de agua fría para caudal de 150 m <sup>3</sup> /hr.	76
A.45 Tabla de pérdidas de carga singulares del flujo de agua caliente para caudal de 150 m <sup>3</sup> /hr.	76
A.46 Tabla de pérdidas totales para caudal de 150 m <sup>3</sup> /hr.	77

A.48 Tabla CAUE del sistema actual	78
A.49 Aplicación de ecuación 5.1 para la instalación de una tercera bomba de una capacidad de 30 m <sup>3</sup> /hr.	79
A.50 Aplicación de ecuación 5.1 para la extracción de dos bombas de 30 m <sup>3</sup> /hr e implementar dos bombas de una capacidad de 54 m <sup>3</sup> /hr	79

---

## ÍNDICE DE CROQUIS

F1.1 Diagrama de estanque de almacenamiento de agua caliente.	3
F3.1 Funcionamiento principal de equipo de climatización industrial marca.	17
F3.2 Corte frontal de Chiller (intercambiador de calor).	25
F4.1 Sistema de bomba del agua caliente.	30
F4.2 Solución con tres bombas al sistema de agua caliente.	32
F4.3 Solución propuesta con dos bombas de 54 m <sup>3</sup> /hr cada una.	33
F4.4 Sistema actual de bombas de agua fría.	34
F4.5 Solución propuesta al sistema de bomba de agua fría.	35
Anexo	
A.6 Croquis del sistema de agua caliente.	55
A.7 Croquis de sistema cerrado de agua fría.	56
A.8 Croquis de sistema de bombas de agua fría.	57

## NOMENCLATURA

Nomenclatura	Descripción	Unidad
$q^*$	Flujo de calor intercambiado	kW
$h$	Entalpía Específica	kJ/kg
$m$	Caudal Másico	kg/s
$C$	Calor especifico medio	kJ/kg·°C
$T$	Temperatura	°C
$P$	Potencia de Bomba	W
$\rho$	Densidad del agua	kg/m <sup>3</sup>
$Q$	Caudal volumétrico de bombeo	m <sup>3</sup> /s
$g$	Aceleración de gravedad	m/s <sup>2</sup>
$H$	Altura especifica de bombeo	m
$Q_T$	Caudal total	m <sup>3</sup> /hr
$Q_i$	Caudal de cada equipo	m <sup>3</sup> /hr
$h$	Pérdida de carga o de energía	m
$f$	Coefficiente de fricción	Adimensional
$L$	Longitud de la tubería	m
$D$	Diámetro interior de la tubería	m
$V$	Velocidad media	m/s
$\mu$	Viscosidad del agua	Pa·s
$\varepsilon$	Rugosidad absoluta de la tubería	m
$k$	Coefficiente empírico	Adimensional