



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**EVALUACIÓN PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA
INTERCAMBIADORES DE CALOR TIPO PLACA EN INDUSTRIAS LIZTEX**

Pablo Andrés Figueroa Morales
Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, abril de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA
INTERCAMBIADORES DE CALOR TIPO PLACA EN INDUSTRIAS LIZTEX,**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PABLO ANDRÉS FIGUEROA MORALES

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ABRIL DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

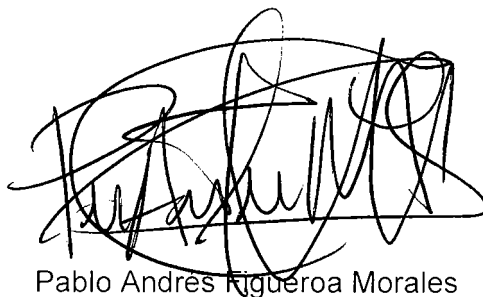
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO
PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR TIPO PLACA EN INDUSTRIAS
LIZTEX,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, el 23 de marzo de 2009.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above the printed name.

Pablo Andrés Figüeroa Morales

Guatemala ciudad, julio de 2009

Ingeniero
José Francisco Gómez Rivera
Director de la Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Distinguido Ingeniero:

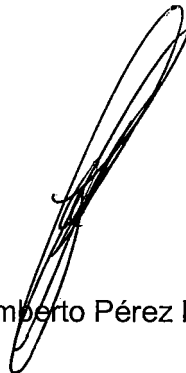
Cumpliendo con lo establecido con la escuela procedía a la asesoría y revisión del trabajo de graduación "EVALUACIÓN PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR TIPO PLACA EN INDUSTRIAS LIZTEX", desarrollado por el estudiante universitario Pablo Andrés Figueroa Morales previo a optar a el título de Ingeniero Mecánico Industrial.

El trabajo presentado por el estudiante ha sido desarrollado, cumpliendo con los requisitos reglamentarios, consultando la bibliografía adecuada, y siguiendo las recomendaciones de la asesoría.

Dicho lo anterior, me permito por la presente, aprobar el trabajo de graduación del autor.

Sin otro particular, me suscribo de su digna persona.

Deferentemente,



Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado
**EVALUACIÓN PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE
ENFRIAMIENTO PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR TIPO
PLACA EN INDUSTRIAS LIZTEX** presentado por el estudiante
universitario **Pablo Andrés Figueroa Morales**, apruebo el presente trabajo y
recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Luis González Castañeda
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela Mecánica Industrial

Ingeniero Industrial
Luis González Castañeda
Colegiado No. 7814

Guatemala, Octubre de 2009.

/agrm



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR TIPO PLACA EN INDUSTRIAS LIZTEX**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Andrés Figueroa Morales**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2010.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PARA INTERCAMBIADORES DE CALOR TIPO PLACA EN INDUSTRIA LIZTEX**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Andrés Figueroa Morales**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga. Glenda Patricia García Soria
Decana en Función



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA
★

Guatemala, abril de 2010

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

LAS DOS PERSONAS QUE MÁS EXTRAÑO Gabriel Gonzalo y Sergio Morales Taracena, por ser un ejemplo de vida insuperable, basándome siempre en su forma de actuar ejemplar y el día de hoy logro cumplir la promesa que fijé el 23 de agosto del 2006.

MI MADRE Yolanda Estela, por estar siempre a mi lado, tanto en tiempos de bonanza y éxito como en aquellos que han apremiado el transcurso de mi vida.

MI TÍA Ofelia, por ser un apoyo incondicional y sobre todo un soporte emocional para las épocas apremiantes.

MI ABUELITA Rosita, por el hecho de compartir conmigo todos sus buenos deseos y por demostrarme fortaleza y deseos de vivir en épocas de adversidad.

MI PRIMO José Roberto, como un modelo a seguir en situaciones complejas de superar.

MIS AMIGOS Por haber hecho de esta travesía una experiencia inmejorable, y por la convivencia dentro y fuera de ésta casa de estudios.

MI ASESOR

Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, por compartir todos sus conocimientos en favor de esta causa.

INDUSTRIAS LIZTEX

Como agradecimiento a la oportunidad y la experiencia profesional que se me proporcionó, con una mención especial al Ing. Jorge Estuardo González, por demostrarme que todo se puede lograr siempre invocando el nombre de Dios y un modelo de vida ejemplar para con los demás.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XI
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XIX
OBJETIVOS	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1 Datos generales de la empresa.....	1
1.1.1 Historia de la planta de Generación Eléctrica GESUR.....	1
1.1.2 Ubicación de la Planta.....	2
1.1.3 Estructura organizacional.....	3
1.1.3.1 Gerente.....	3
1.1.3.2 Ingeniero de mantenimiento de motores.....	3
1.1.3.3 Ingeniero de mantenimiento de equipos auxiliares.....	4
1.1.3.4 Ingeniero de mantenimiento eléctrico.....	4
1.1.3.5 Ingeniero de operaciones.....	4
1.1.3.6 Ingeniero de proyectos.....	4
1.1.3.7 Ingeniero de seguridad industrial.....	4
1.1.3.8 Jefe de mecánicos.....	5
1.1.3.9 Operario.....	5
1.1.3.10 Mecánico.....	5
1.1.4 Organigrama.....	5
1.2 Misión.....	6
1.3 Visión.....	6
1.4 Valores.....	6

1.5	Actividades dentro de la empresa.....	7
1.6	Servicios que proporciona la empresa.....	8
1.6.1	Generación de energía eléctrica.....	8
1.6.2	Planta de generación.....	10
1.6.3	Mantenimiento.....	10
1.6.3.1	Mantenimiento correctivo.....	12
1.6.3.2	Mantenimiento preventivo.....	13
1.6.3.3	Mantenimiento predictivo.....	15
2.	EVALUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	17
2.1	Agua de enfriamiento.....	17
2.1.1	Uso del agua para enfriamiento.....	17
2.1.2	Fuentes de agua de enfriamiento.....	18
2.1.3	Principales propiedades del agua de enfriamiento.....	18
2.1.4	Importancia de las principales propiedades del agua, en los sistemas de agua de refrigeración.....	21
2.1.5	Tipos de sistemas de enfriamiento de agua más comunes....	21
2.2	Descripción actual del sistema.....	22
2.2.1	Proceso.....	23
2.2.1.1	Agua de refrigeración para la circulación.....	24
2.2.1.2	Requisitos del agua de refrigeración.....	24
2.2.1.3	Durezas del agua.....	25
2.2.1.4	Dosificación.....	25
2.2.1.5	Valor de pH adecuado.....	26
2.2.2	Equipo.....	26
2.2.2.1	Componentes HT (<i>High Temperature</i>).....	27
2.2.2.2	Componentes LT (<i>Low Temperature</i>).....	27
2.2.2.3	Componentes en común.....	27

2.2.3 Tratamiento de agua.....	28
2.2.3.1 Parámetros del circuito.....	28
2.2.3.1.1 Recirculación (R).....	28
2.2.3.1.2 Reposición (M).....	28
2.2.3.1.3 Evaporación (E).....	28
2.2.3.1.4 Arrastre (A).....	29
2.2.3.1.5 Purga (P).....	29
2.2.3.1.6 Ciclos de concentración (C).....	29
2.2.3.2 Volumen del circuito.....	30
2.2.3.3 Tiempo de retención.....	30
2.2.3.4 Tiempo de vida media.....	31
2.2.3.5 Variación de ciclos de concentración en función de purgas.....	32
2.2.4 Problemas que se presentan en el sistema de enfriamiento..	32
2.2.4.1 Crecimiento microbiano.....	32
2.2.4.2 Incrustaciones.....	33
2.2.4.3 Control de incrustaciones.....	34
2.2.4.3.1 Crecimiento microbiano.....	34
2.2.4.3.2 Minerales críticos para potencial de incrustación en aguas recuperadas.....	35
2.2.4.3.3 Tratamiento ácido.....	37
2.2.4.3.4 Tratamiento alcalino.....	37
2.2.4.4 Corrosión.....	38
2.2.5 Instrumentación y control.....	39
2.2.5.1 Instrumentación para el análisis de pH.....	40
2.2.5.2 Instrumentación para el análisis de dureza.....	40
2.2.5.3 Instrumentación para el análisis de conductividad.....	40
2.2.5.4 Instrumentación para el análisis de hierro:.....	40
2.2.5.5 Datos de los parámetros del circuito.....	41

2.3	Mantenimiento.....	42
2.4	Análisis mecánico del sistema actual.....	44
2.4.1	Delimitación de los departamentos que necesitan del sistema.....	44
2.4.2	Explicación de requerimientos de temperaturas.....	44
2.4.3	Medición de temperaturas.....	45
2.4.3.1	Temperaturas de entrada	47
2.4.3.2	Temperaturas de salida.....	48
3.	PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	53
3.1	Enumeración de propuestas.....	53
3.1.1	Torres de enfriamiento GEA.....	54
3.1.2	Torre de enfriamiento diseñada en base a estudios de Ingeniería.....	55
3.2	Identificación de variables.....	57
3.2.1	Tipo.....	59
3.2.1.1	Torre de enfriamiento de concreto GEA.....	59
3.2.1.2	Torre de enfriamiento de madera GEA.....	61
3.2.1.3	Torres de enfriamiento de FRP (fibra de vidrio) GEA.....	64
3.2.1.4	Torre de enfriamiento diseñada por el autor.....	65
3.2.2	Costo.....	66
3.2.2.1	Torre de enfriamiento de concreto GEA.....	66
3.2.2.1.1	Costo del dispositivo.....	66
3.2.2.1.2	Costo de instalación y montaje.....	66
3.2.2.1.3	Costo anual de mantenimientos.....	66
3.2.2.1.4	Costos de inducción.....	66
3.2.2.2	Torre de enfriamiento de madera GEA.....	67
3.2.2.2.1	Costo del dispositivo.....	67

3.2.2.2.2 Costo de instalación y montaje.....	67
3.2.2.2.3 Costo anual de mantenimientos.....	67
3.2.2.2.4 Costos de inducción.....	67
3.2.2.3 Torre de enfriamiento de FRP GEA.....	67
3.2.2.3.1 Costo del dispositivo.....	68
3.2.2.3.2 Costo de instalación y montaje.....	68
3.2.2.3.3 Costo anual de mantenimientos.....	68
3.2.2.3.4 Costos de inducción.....	68
3.2.2.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.....	68
3.2.2.4.1 Costo del dispositivo.....	69
3.2.2.4.2 Costo de instalación y montaje.....	70
3.2.2.4.3 Costo anual de mantenimientos.....	70
3.2.2.4.4 Costos de inducción.....	71
3.2.3 Espacio.....	71
3.2.3.1 Torre de enfriamiento de concreto GEA.....	71
3.2.3.2 Torre de enfriamiento de madera GEA.....	71
3.2.3.3 Torre de enfriamiento de FRP GEA.....	71
3.2.3.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.....	71
3.2.4 Construcción, instalación y montaje.....	71
3.2.4.1 Torre de enfriamiento de concreto GEA.....	72
3.2.4.2 Torre de enfriamiento de madera GEA.....	72
3.2.4.3 Torre de enfriamiento de FRP GEA.....	72
3.2.4.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.....	72
3.2.5 Mantenimiento.....	73
3.2.5.1 Torre de enfriamiento de concreto GEA.....	73
3.2.5.2 Torre de enfriamiento de madera GEA.....	73
3.2.5.3 Torre de enfriamiento de FRP GEA.....	73
3.2.5.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.....	74
3.2.6 Inducción.....	74

3.2.6.1 Torre de enfriamiento de concreto GEA.....	74
3.2.6.2 Torre de enfriamiento de madera GEA.....	74
3.2.6.3 Torre de enfriamiento de FRP GEA.....	75
3.2.6.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.....	75
3.3 Diagnóstico.....	75
3.3.1 Antecedentes.....	75
3.3.2 Generalidades.....	77
3.3.3 Definición del problema.....	78
3.3.4 Metas.....	79
3.4 Formulación.....	79
3.4.1 Alternativas de localización de acuerdo a los factores identificados.....	79
3.4.1.1 Disponibilidad de terreno.....	80
3.4.1.1.1 Alternativa "A".....	80
3.4.1.1.2 Alternativa "B".....	80
3.4.1.2 Topografía del suelo.....	80
3.4.1.2.1 Alternativa "A".....	80
3.4.1.2.2 Alternativa "B".....	81
3.4.1.3 Disponibilidad de recursos.....	81
3.4.1.3.1 Alternativa "A".....	81
3.4.1.3.2 Alternativa "B".....	81
3.4.1.4 Posibilidad de comunicación.....	81
3.4.1.4.1 Alternativa "A".....	81
3.4.1.4.2 Alternativa "B".....	82
3.4.1.5 Posibilidad de evacuar desechos.....	82
3.4.1.6 Disponibilidad de recurso humano.....	82
3.4.1.7 Carencias con fuentes de abastecimiento.....	82
3.4.1.7.1 Alternativa "A".....	82
3.4.1.7.2 Alternativa "B".....	83

3.4.1.8	Localización óptima.....	83
3.5	Análisis financiero.....	84
3.5.1	Costos por uso de radiadores.....	84
3.5.2	Valor Presente Neto (VPN).....	85
3.5.2.1	Torre de enfriamiento.....	86
3.5.2.2	Radiadores.....	87
3.6	Consecuencias para el medio ambiente.....	88
3.6.1	Una alternativa eficaz y segura para el ahorro de energía.....	88
3.6.2	Consecuencias económicas y medioambientales.....	88
3.6.3	Ventajas de las torres de enfriamiento.....	90
3.6.4	Principio de funcionamiento del enfriamiento evaporativo.....	91
3.6.5	Respecto al medioambiente.....	92
3.6.6	Impactos ambientales estimados.....	96
3.6.7	Implicaciones económicas.....	96
4.	IMPLEMENTACIÓN.....	97
4.1	Presentación de la implementación.....	97
4.1.1	Definición.....	103
4.1.1.1	Aire y psicrometría.....	103
4.1.1.1.1	Temperatura de bulbo seco.....	103
4.1.1.1.2	Temperatura de bulbo húmedo.....	103
4.1.1.1.3	Temperatura de rocío.....	104
4.1.1.1.4	Presión parcial.....	104
4.1.1.1.5	Humedad absoluta.....	104
4.1.1.1.6	Humedad relativa.....	105
4.1.1.1.7	Entalpía.....	105
4.1.1.2	Carta psicrométrica.....	106
4.1.1.3	Acercamiento.....	107

4.1.1.4	Salto térmico.....	108
4.1.2	Metas a alcanzar.....	109
4.1.3	Resultados esperados.....	109
4.2	Personal designado.....	110
4.2.1	Encargados de implementación.....	111
4.2.2	Materiales a utilizar en el mantenimiento del sistema de enfriamiento.....	111
4.2.2.1	Análisis de Ph.....	111
4.2.2.2	Análisis de dureza.....	114
4.2.2.3	Análisis de conductividad.....	119
4.2.2.4	Análisis de hierro.....	121
4.2.3	Herramientas a utilizar en el mantenimiento de maquinaria y componentes.....	125
5.	SEGUIMIENTO.....	131
5.1	Capacitación de personal.....	131
5.1.1	Objetivo.....	131
5.1.2	Alcance y aplicación.....	132
5.1.3	Condiciones generales.....	132
5.1.4	Políticas y normas del programa de inducción.....	134
5.1.4.1	Políticas.....	134
5.1.4.2	Normas.....	135
5.1.5	Actividades de la inducción por etapas.....	135
5.1.5.1	Bienvenida.....	135
5.1.5.2	Introducción a la organización.....	136
5.1.5.3	Evaluación y seguimiento.....	137
5.1.5.4	Entrenamiento.....	137
5.1.5.5	Preparación.....	137
5.1.5.6	Proceso de enseñanza (aprendizaje en el puesto de trabajo)	138

5.1.6	Evaluación para el programa de inducción.....	140
5.2	Acciones correctivas.....	146
5.3	Observación y análisis de procesos operativos.....	149
5.3.1	Evaluación.....	149
5.3.1.1	Seguimiento al sistema de enfriamiento.....	151
5.3.1.2	Ficha de seguimiento de temperatura y otros aspectos.....	153
5.3.2	Control.....	154
5.3.3	Normas.....	156
	CONCLUSIONES.....	159
	RECOMENDACIONES.....	163
	BIBLIOGRAFÍA.....	165
	ANEXOS.....	167

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Foto satelital de ubicación de Planta GESUR.....	3
2.	Organigrama general de la planta.....	5
3.	Esquema de los parámetros del circuito.....	29
4.	Incrustación de alga en un aspersor de agua.....	34
5.	Limpieza de algas incrustadas en rellenos de torres de enfriamiento.....	35
6.	Pirómetro tomando temperaturas de Intercambiador de calor.....	44
7.	Pirómetro tomando temperaturas de entrada al circuito.....	45
8.	Circuito de enfriamiento de Planta Bluref I.....	46
9.	Entrada al circuito de enfriamiento de los intercambiadores de calor.....	47
10.	Salida del circuito de enfriamiento de los intercambiadores de calor.....	48
11.	Intercambiadores de calor tipo placas.....	49
12.	Medición de temperatura con un pirómetro.....	50
13.	Monitor de control de motores.....	50
14.	Ingreso al control del sistema de enfriamiento.....	50
15.	Pleno monitoreo de presión y temperatura del sistema.....	51
16.	Ilustración de una torre de enfriamiento GEA.....	54
17.	Torre de enfriamiento diseñada por el autor.....	58
18.	Torre de enfriamiento de concreto GEA.....	60
19.	Interior de torre de enfriamiento de concreto GEA.....	61
20.	Torre de enfriamiento de madera GEA.....	63
21.	Interior de torre de enfriamiento de madera GEA.....	63

22. Interior de torre de enfriamiento de FRP GEA	64
23. Alternativas para ubicación de torre de enfriamiento.....	80
24. Resolución de VPN en Microsoft Excel.....	86
25. Resolución de VPN en Microsoft Excel.....	87
26. Gráfico de equilibrio con base a tabla 8.....	98
27. Carta psicrométrica.....	106
28. Explicación del comportamiento de variables en una carta psicrométrica.....	107
29. Ejemplificación del salto térmico.....	108
30. Forma correcta de tomar medidor de pH.....	112
31. Forma correcta de insertar medidor de pH.....	113
32. Obtención de resultado de pH del agua.....	113
33. Utilización correcta de probeta.....	115
34. Vertido correcto de buffer de dureza.....	116
35. Vertido correcto de indicador de dureza.....	116
36. Agitación correcta para disolver químico.....	117
37. Vertido correcto de solución tituladota.....	117
38. Color correcto de la muestra a analizar.....	118
39. Forma correcta de vertido de agua en conductivímetro.....	120
40. Ubicación de la tecla para activar programa de conductividad	120
41. Obtención del resultado de conductividad.....	120
42. Secuencia de realización del paso 1.....	122
43. Vertido correcto de 25 ml de muestra de frasco 1.....	122
44. Vertido correcto de 25 ml de muestra de frasco 2.....	122
45. Vertido de sobre ferover en muestra a analizar.....	123
46. Selección de tiempo para muestra de químico.....	123
47. Colocación correcta de muestra 1 en espectofotómetro.....	123
48. Modo de ingreso para activar programa de análisis.....	124
49. Colocación correcta de muestra 2 en espectofotómetro.....	124

50.	Selección de Read/Enter para obtención de resultado final de análisis de hierro.....	124
51.	Grupo de mantenimiento de torres de enfriamiento.....	126
52.	Limpieza de incrustaciones con cepillo de alambre.....	127
53.	Acumulación de algas luego de la limpieza de la torre de enfriamiento.....	127
54.	Relleno de torre de enfriamiento con incrustación en exceso.....	139
55.	Limpieza de rellenos de torre por medio de hidro-lavado a presión.	147
56.	Control del comportamiento de temperaturas de los intercambiadores de calor tipo placas en Microsoft Excel.....	154
57.	Gráfico dinámico con base a datos del intercambiador de calor...	155

TABLAS

I.	Magnitudes adecuadas para agua fresca de motores.....	25
II.	Resultados de dimensiones de parámetros del circuito.....	41
III.	Resultados de dimensiones de parámetros del circuito.....	41
IV.	Descripción de mantenimientos de componentes.....	42
V.	Resumen de costos de materiales para la torre de enfriamiento.....	68
VI.	Resumen de costos totales de cada opción de torres de enfriamiento.....	84
VII.	Cálculos de temperaturas de temperaturas y presiones para el aire.....	97
VIII.	Entalpía del agua en función de la temperatura.....	97
IX.	Hoja para el seguimiento del funcionamiento de los intercambiadores de calor tipo placas.....	153

GLOSARIO

Agua fresca	Es la fuente principal de agua de reposición para los sistemas de agua de enfriamiento. El agua fresca puede ser: agua superficial (ríos, arroyos, reservorios) o agua subterránea (agua de pozos poco profundos o profundos).
AWS	Sociedad Americana de Soldadura.
Carta psicrométrica	Es una representación gráfica de las propiedades termodinámicas de una mezcla aire-vapor de agua.
Conductividad	Es una medida de la habilidad para conducir la electricidad. En agua de enfriamiento, la conductividad indica la cantidad de minerales y gases disueltos en el agua.
Dureza:	Se refiere a la cantidad de minerales de calcio y magnesio presentes en el agua.
Entalpía	Es el contenido energético de cierta sustancia. Para el caso del aire atmosférico es la suma de la energía asociada al aire seco y la energía asociada al vapor de agua.

Humedad relativa	Es la relación que existe entre la presión del vapor en la mezcla y la presión de saturación del vapor de agua a la temperatura de bulbo seco en que se encuentra la mezcla.
Mantenimiento	Es la serie de trabajos que hay que ejecutar en algún equipo, planta o método, a fin de conservarlo y dé el servicio para lo que fue diseñado.
Mantenimiento predictivo	Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la máquina examinada, mientras que ésta, se encuentre en pleno funcionamiento, para ello es necesario el uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros, más importantes del equipo.
Mantenimiento correctivo	Este mantenimiento también es denominado mantenimiento reactivo, tiene lugar luego que ocurre una falla ó avería, es decir, solo se aplica cuando se presenta un error en el sistema.
Normas	Son lineamientos con base a los cuales se debe trabajar, logrando con ello los resultados esperados con base a la planificación de la empresa.
pH	Da una indicación de acidez o basicidad del agua. La escala del pH va del 0 al 14, donde el cero representa la máxima acidez y el 14 la máxima basicidad.

Sistemas de recirculación cerrados	Usa la misma agua de enfriamiento repetidamente en un ciclo continuo. Primero, el agua absorbe calor del fluido del proceso y luego lo libera en otro intercambiador de calor.
Sistemas de recirculación abiertos	Se denominan también sistemas evaporativos y son los más ampliamente usados en el diseño de enfriamiento industrial; usan tratamiento químico.
Sistemas de un solo paso	El agua de enfriamiento pasa a través de un equipo de intercambio de calor solamente una vez. Debido a los grandes volúmenes de agua de enfriamiento que son usados, la temperatura del agua se incrementa sólo ligeramente.
Temperatura de bulbo húmedo	Es la temperatura medida con un termómetro cuyo bulbo o sensor se encuentra cubierto de un material humedecido con agua.
Temperatura de bulbo seco	Es la temperatura medida con un termómetro cuyo bulbo o sensor se encuentra en contacto directo con el sistema.
Temperatura de rocío	Es la temperatura del aire en condiciones de saturación. Se evalúa determinando la temperatura de saturación a la presión de vapor en la mezcla.

RESUMEN

En la actualidad, es más común el uso de sistemas alternativos para compensar o sistematizar distintos procedimientos que causan altos costos de operación para compañías con tecnología de vanguardia; para ello es necesario hacer estudios técnico-financieros que se ajusten a cabalidad con los requerimientos operacionales del sector productivo que se estudia. El objetivo primordial de los ejecutivos de Industrias Liztex a mediados de los años 90 fue generar su propia electricidad a base de un motor de combustión interna con el objeto principal de satisfacer demandas internas de la corporación, y sin esperarlo, generaban un excedente que por la legislación local de aquel entonces era ilegal comercializar. Cuando el entorno legal fue propicio para la comercialización de energía eléctrica por parte de la iniciativa privada fue cuando surgió el proyecto de ampliación de un motor a catorce que son hoy en día. La planta en la actualidad está capacitada para generar y comercializar ciento quince megavatios de potencia, siendo el producto por el cual muchas empresas y hogares pueden disfrutar de un servicio energético puntual y constante.

El eje principal en que se basa el presente trabajo de graduación gira alrededor de un problema usual en cualquier industria que necesita contar con un sistema de enfriamiento eficiente para su maquinaria, pero éste a la vez genera altos costos de operación que a la larga pueden ser reducidos utilizando los recursos naturales propios del lugar donde se ubican. Un estudio termodinámico que se centraliza en la transferencia de energía, es capaz de cumplir con creces las expectativas que puede generar cualquier dispositivo hecho por un fabricante especializado en el ramo. Un aspecto primordial a tomar en cuenta es poder contar con la infraestructura adecuada y una fuente

de agua constante para lograr el cometido de recircular el flujo del vital líquido en todo el procedimiento productivo. Debemos de recordar que más de la tercera parte de la energía que es capaz de generar un motor se pierde por excesos de temperaturas en el sistema, por lo que éste viene a ser un aspecto que se suma a la importancia de formular un proyecto adecuado.

Aunado a lo anterior podemos incluir un control eficiente de nuestros dispositivos mediante observaciones físicas y registros electrónicos que permitan esquematizar los datos y nos arrojen tendencias del funcionamiento en un futuro cercano para tomar decisiones de aplicar mantenimientos preventivos y así evitar llegar a uno correctivo. La capacitación del personal para involucrarlo en las acciones primordiales para el buen funcionamiento de las implementaciones que se lleven a cabo es de mucha importancia, puesto que son ellos los que primero detectan los problemas a la hora de suscitarse, y deben de ser ellos los que tengan la plena competencia para tomar decisiones que eviten cualquier paro controlable.

Debemos de tomar en cuenta que un inversionista debe de estar respaldado con un estudio económico que fundamente la operación de cualquier cambio, por lo que herramientas financieras enfocadas desde un paquete de software como lo es Microsoft Excel viene a ser un gran aliado para la toma de decisiones correctas sobre poner en marcha o no determinado propósito.

OBJETIVOS

GENERAL:

Realizar un estudio para el diseño de un sistema de enfriamiento para los intercambiadores de calor tipo placas en Industrias Liztex.

ESPECÍFICOS:

1. Establecer por medio de estudios técnicos, las acciones principales del control del sistema de enfriamiento de la planta.
2. Describir cada uno de los procesos realizados para la intervención directa en el sistema de enfriamiento de la planta.
3. Detallar los componentes básicos del dispositivo de enfriamiento actual.
4. Analizar los costos directos que se soportan por el hecho de continuar con el sistema de enfriamiento actual para el enfriamiento de los motores.
5. Evaluar los pasos técnicos y financieros para la ampliación del sistema de enfriamiento en la planta.
6. Investigar de forma ajustada a los recursos financieros y la vanguardia tecnológica de un sistema de enfriamiento actualizado.
7. Concluir de forma técnica la conveniencia de aumentar el sistema de enfriamiento para los distintos procedimientos productivos de la planta.

INTRODUCCIÓN

Considerando que Guatemala es un país en vías de desarrollo, se hace necesaria la mención de poder contar con planes a corto, mediano y largo plazo con el objeto de planificar un desarrollo sostenible que intente llegar a la mayor proporción poblacional permisible. Es por ello que necesitamos implementar procesos que nos permitan colocarnos a la vanguardia de la industrialización y tecnología, obtener capacitación acorde a los requerimientos empresariales e industriales; el hecho de adquirir tecnología de punta para sistematizar varios procedimientos que suelen ser engorrosos y repetitivos, además de presentarse como un obstáculo en la busca de optimizar los recursos dentro de una planta de producción.

Para llegar a determinar la necesidad de ampliar determinado dispositivo de productos o servicios es básico contar con un estudio previo de Preparación y Evaluación de Proyectos, hacer comparaciones eficaces en cuanto a costos y productividad, eficiencia, movimiento de personal, inducción inicial, capacitaciones constantes, planes de mejora continua, registro de datos, implantación de un sistema de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo; entre otras.

El objetivo fundamental de una evaluación de proyectos es precisamente ser una herramienta matemática-financiera de gran utilidad para la toma de decisiones por parte de los administradores financieros, ya que un análisis que se anticipe a futuros determinados es fundamental para evitar posibles desviaciones y problemas a corto, mediano y largo plazo.

Un intercambiador de calor es un equipo utilizado para enfriar un fluido que está más caliente de lo deseado, transfiriendo éste calor a otro fluido que está frío y necesita ser calentado. Dentro de las aplicaciones de un intercambiador de calor más comunes encontramos la función doble de calentar

y enfriar, condensar un vapor o una mezcla de vapores, aplicar calor sensible a un fluido, vaporizar un líquido, entre otras.

La temperatura es un parámetro que afecta directamente el funcionamiento de cualquier tipo de motor de combustión interna moderno. En un motor más de la tercera parte de energía que se le suministra a través de combustible se pierde en forma de calor, por lo que el sistema de enfriamiento es el que se encarga de que los diferentes componentes del motor se mantengan en temperaturas seguras para evitar que el motor sufra descomposturas parciales o totales por lo mismo.

Dentro del presente trabajo de graduación el autor enmarca una comparación detallada del sistema de enfriamiento actual con la posibilidad de implementar un diseño de sistema de enfriamiento nuevo de la planta de generación de Industrias Liztex.

1. ANTECEDENTES GENERALES

En ésta sección se abarcará el perfil general de la empresa desde su surgimiento, hasta la actualidad, conceptos de los productos y servicios que vende, así también la visión y misión que denota las metas que se desean alcanzar, todo lo anterior con el objeto de introducir al lector en el campo donde se llevará a cabo la investigación.

1.1 Datos generales de la empresa

1.1.1 Historia de la planta de Generación Eléctrica GESUR

Es una planta de generación eléctrica que trabaja a base de motores de combustión interna, fue instalada en el año de 1996 contando para ese entonces con un motor de 8 cilindros y una capacidad instalada de 5 MW. El propósito inicial de importar y poner en funcionamiento un motor de tales magnitudes era para producir energía eléctrica con el objeto de satisfacer la demanda local de energía del resto de plantas que componen la corporación de Industrias Liztex. Con una filosofía de mejora continua fue creciendo la primer planta al importar un segundo motor, con el objeto de producir más energía y poder comercializarla con Industrias aledañas, todo esto se pudo dar ya que el entorno legal dio un giro de trescientos sesenta grados cuando el gobierno de ese entonces tuvo la acertada decisión de privatizar la Empresa Eléctrica de Guatemala con el afán de poder cubrir la demanda de energía que el estado era incapaz de cumplir. La planta ha ido creciendo paulatinamente y actualmente cuenta con 14 motores de las siguientes capacidades: 4 motores de 8 cilindros con una capacidad instalada de 5 MW cada uno, 6 motores de 9 cilindros con una capacidad instalada de 7.5 MW cada uno, 2 motores de 6 cilindros con una

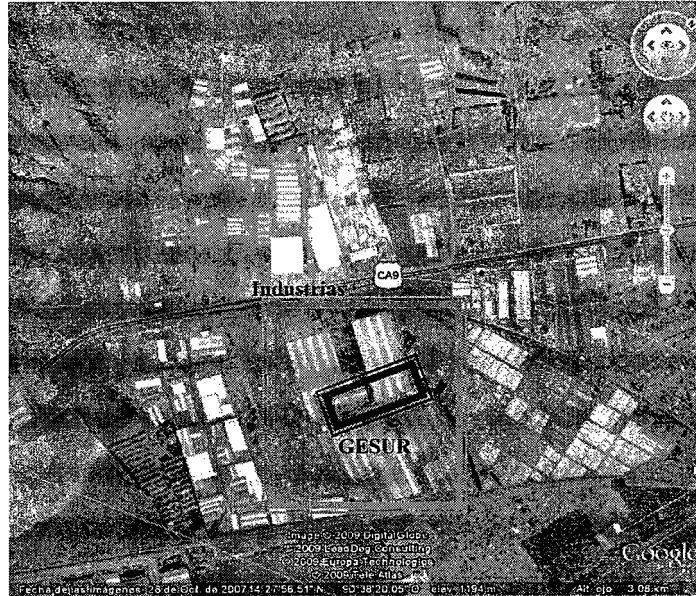
capacidad instalada de 5 MW cada uno. Y 2 motores de 6 cilindros en V con una capacidad instalada de 10 MW.

La planta se divide en tres áreas: Bluref 1 que cuenta con 2 motores, generando 10 MW; Bluref 2 que tiene instalado 6 motores, generando 40 MW; y GCA con 6 motores generando 45 MW. Cada motor cuenta con su respectivo mecánico y con personal de mantenimiento. Cada área de la planta cuenta con áreas de dispositivos de control y supervisión electrónicos que permiten monitorear el funcionamiento instantáneo de cada motor y sus equipos auxiliares; dicho control está designado a operadores quienes se someten a jornadas rotativas descritas a continuación. La supervisión está a cargo de ingenieros especializados en la rama de generación eléctrica. Por el tipo de servicio que se presta en la planta es necesario trabajar las 24 horas del día por lo cual se trabaja con dos turnos de 12 horas cada uno.

1.1.2 Ubicación de la Planta

La planta está ubicada en Parques del Lago, kilómetro 30.5 ruta al Pacífico, en el municipio de Amatitlán, Guatemala, C.A. (ver *Figura 1*). El contexto geográfico de la planta de generación está incluido dentro de una zona franca industrial, la cual está rodeada de industrias de textiles automatizadas, plantas de hilatura, bodegas y fábricas de otras índoles. La región es colindante con el municipio de Palín del departamento de Escuintla, su ruta de acceso es por medio de la carretera nacional CA-9, estando en medio de el cañón de Palín y un área completamente volcánica con topografía plana.

Figura 1. Foto satelital de ubicación de Planta GESUR



Fuente: Mapa Satelital Google Earth (Planta Generadora)

1.1.3 Estructura organizacional

Las especificaciones de los cargos de la planta y las correspondientes tareas de los mismos se presentan a continuación en orden jerárquico:

1.1.3.1 Gerente

Ingeniero Mecánico encargado de la inspección, control y desarrollo de la planta en general

1.1.3.2 Ingeniero de mantenimiento de motores

Ingeniero mecánico a cargo del mantenimiento mayor y menor de los 14 motores de combustión interna que hay dentro de la planta.

1.1.3.3 Ingeniero de mantenimiento de equipos auxiliares

Ingeniero Mecánico encargado del servicio mayor o menor que se le deba de prestar a todos los dispositivos auxiliares necesarios para un funcionamiento óptimo de los 14 motores de combustión interna que operan en la planta.

1.1.3.4 Ingeniero de mantenimiento eléctrico

Ingeniero Eléctrico encargado de controlar y supervisar cualquier tipo de trabajo de instalación o mantenimiento de equipos eléctricos.

1.1.3.5 Ingeniero de operaciones

Ingeniero Mecánico Industrial encargado del análisis del combustible, aceite y agua de refrigeración de los motores. Además lleva el control del consumo de bunker y diesel y aceite.

1.1.3.6 Ingeniero de proyectos

Ingeniero Mecánico Industrial encargado de realizar los estudios científicos y financieros adecuados para implementar nuevos proyectos o ampliar los ya existentes dentro de la planta.

1.1.3.7 Ingeniero de seguridad industrial

Ingeniero Industrial encargado de velar por el buen funcionamiento de sistemas de seguridad y planes de contingencia dentro de la planta; además se encarga de supervisar las áreas de trabajo de mantenimiento, tanto mecánico como eléctrico y dar el visto bueno para áreas fuera de cualquier tipo de riesgo o peligro.

1.1.3.8 Jefe de mecánicos

Coordina las operaciones con el ingeniero de mantenimiento y se encarga de controlar el buen funcionamiento de los motores.

1.1.3.9 Operario

Controla desde el cuarto de control el funcionamiento de los motores y se encarga de distribuir la energía generada de acuerdo a la demanda.

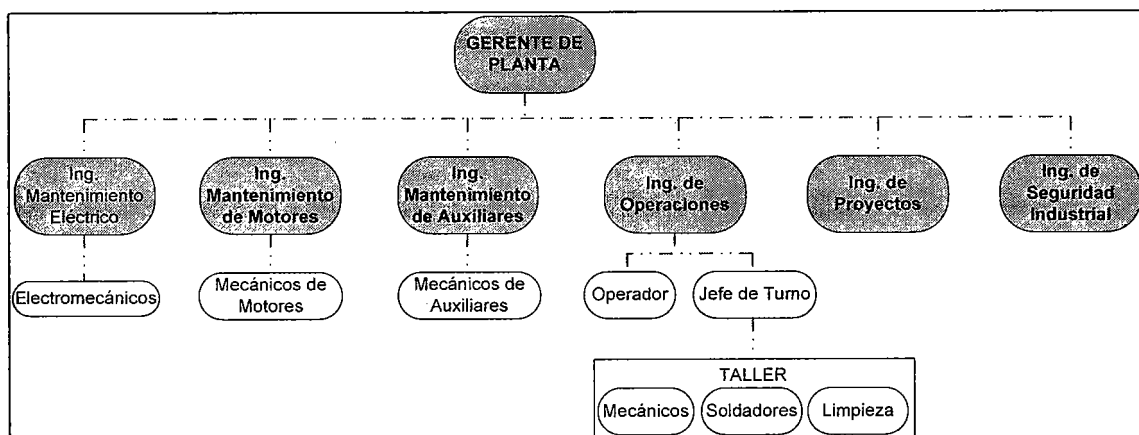
1.1.3.10 Mecánico

Se encarga de realizar cualquier mantenimiento o reparación a la maquinaria.

1.1.4 Organigrama

Luego de haber observado como se distribuye la estructura organizacional en la empresa, se procede a mostrar al lector en una forma gráfica dicha explicación.

Figura 2. Organigrama general de la planta.



Fuente: Elaboración propia.

1.2 Misión

La visión de la planta GESUR es ser una de las plantas energéticas de mayor importancia, mediante un servicio sin fronteras y de alta calidad.

1.3 Visión

Ser líder reconocido en el área de generación de energía, participar en los mercados y aplicaciones en donde se logre una posición de liderazgo o de alta participación de mercado que nos permita alta rentabilidad sostenida, que satisfaga las necesidades de nuestros clientes, protegiendo el medio ambiente y apoyando el mejoramiento de nuestros trabajadores.

1.4 Valores

Dentro de los valores de la planta de generación se deben de practicar como una actitud solidaria son:

- **Colaboración:** El logro de objetivos requiere que todos los trabajadores participen haciendo contribuciones de manera individual y en quipo en la realización y mejora del servicio.
- **Honestidad:** El comportamiento debe ser socialmente responsable, mostrando respeto, imparcialidad y sinceridad, hablando siempre con la verdad y apegado a las reglas de la planta.
- **Lealtad:** Se debe cuidar por siempre que nuestras relaciones de trabajo no se debiliten, siendo fieles evitando cosas que alteren el compromiso y cuidando de la "intimidad".
- **Respeto:** Apegarse a las normas establecidas, buscando el bien común sin ofender a nadie o que se sientan afectados en su persona o en sus bienes.

1.5 Actividades dentro de la empresa

La planta de Generación se encuentra dividida en tres áreas principales: Gerencia (Administración), Operación y Mantenimiento. Dentro del Departamento de Operaciones se lleva un control específico consumo generación de los motores, con el fin de coordinar con el departamento de compras el combustible necesario para el correcto desempeño de la planta generadora y este a su vez, con las flotas de camiones tanques contenedores de combustibles para el continuo abastecimiento de los combustibles en los tanques de almacén ubicados dentro de la planta. La planta cuenta con una capacidad instalada de almacenamiento de 2.002.500 Gls de combustible bunker C distribuidos en 9 tanques de 222.500 Gls cada uno o de 5,298 Barriles. (1 Barril=42 Gls) para las plantas de Bluref II y GCA. Así mismo con tres tanques horizontales con capacidad de 10,000 Gls para combustible diesel. Para la planta de Bluref I, se cuenta con un tanque de almacenamiento para bunker de 110, 000 gls de bunker y de 5,000gls para Combustible Diesel.

El departamento de mantenimiento es en sí, un medio de mayor productividad para la generadora, al lograr mayores niveles de disponibilidad y confiabilidad de los equipos, lo cual incrementa la producción eléctrica. Además ayuda a mantener las condiciones adecuadas en los equipos para asegurar y extender la vida útil de los mismos, según manual de operación y mantenimiento de los equipos, reduciendo los costos adicionales por mantenimiento. Al ser estos equipos de última generación, el departamento de mantenimiento viene a jugar un papel muy importante dentro de la planta, y es por ello que se hace necesario subdividirlo en dos secciones: mantenimiento de motores, y mantenimiento de equipos auxiliares.

1.6 Servicios que proporciona la empresa

Los servicios que presta la empresa son dos, siendo el primordial la generación y comercialización de energía eléctrica; y luego la comercialización de distintos tipos de combustibles para varias clases de automotores.

1.6.1 Generación de energía eléctrica

La generación se lleva a cabo gracias a un extenso grupo electrógeno, siendo éste una máquina que mueve un generador de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna. Para ilustrar de mejor manera al lector, un grupo electrógeno es comúnmente utilizado cuando hay déficit en la generación de energía de algún lugar, o cuando hay corte en el suministro eléctrico y es necesario mantener la actividad. Una de sus utilidades más comunes es en aquellos lugares donde no hay suministro a través de la red eléctrica, generalmente son zonas agrícolas con pocas infraestructuras o viviendas aisladas. Otro caso es en locales de pública concurrencia, hospitales, fábricas, etc., que, a falta de energía eléctrica de red, necesiten de otra fuente de energía alterna para abastecerse en caso de emergencia. Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:

- **Motor de combustión interna.** El motor que acciona el grupo electrógeno suele estar diseñado específicamente para ejecutar dicha labor. Su potencia depende de las características del generador. Pueden ser motores de gasolina o diesel.
- **Sistema de refrigeración.** El sistema de refrigeración del motor es problemático, por tratarse de un motor estático, y puede ser refrigerado por medio de agua, aceite o aire.

- **Alternador.** La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, autoexcitado, autorregulado y sin escobillas, acoplado con precisión al motor. El tamaño del alternador y sus prestaciones son muy variables en función de la cantidad de energía que tienen que generar.
- **Depósito de combustible y bancada.** El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero. La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de funcionamiento a plena carga según las especificaciones técnicas que tenga el grupo en su autonomía.
- **Sistema de control.** Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control que existen para controlar el funcionamiento, salida del grupo y la protección contra posibles fallos en el funcionamiento.
- **Interruptor automático de salida.** Para proteger al alternador, llevan instalado un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del grupo electrógeno. Existen otros dispositivos que ayudan a controlar y mantener, de forma automática, el correcto funcionamiento del mismo.
- **Regulación del motor.** El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida

1.6.2 Planta de generación

Una planta de generación de energía térmica es un complejo creado por el hombre destinado a transformar la proveniente de alguna fuente energética de la naturaleza en una forma de energía útil para el hombre.

La generación de electricidad en Guatemala, fundamentalmente proviene de recursos no renovables, como lo son el diesel, bunker, carbón y biomasa, dependiendo estos recursos considerablemente de la generación de energía de origen renovable hidráulico aportado por las hidroeléctricas; las cuales aportan un 37.6% del total de la generación instalada en Guatemala.

Es importante denotar que estas durante el verano reducen su generación de energía por la falta de agua. Para sostener la demanda energética del país, el parque generador es compuesto por generación con motores recíprocos de combustión interna; aportando un 36.4% de la generación total utilizando la energía química del poder calorífico del combustible bunker y diesel para transformarla en energía química, mecánica y esta a su vez en energía eléctrica.

1.6.3 Mantenimiento

Para lograr un funcionamiento continuo, sin que se vea seriamente afectado por pausas programadas o imprevistas es necesario contar con un plan de mantenimiento exhaustivo e intensivo para la preservación de los equipos tanto principales como auxiliares.

Se establece, que mantenimiento en general es conservar y garantizar el funcionamiento de algún objeto o situación. El objetivo del mantenimiento es la

conservación, del servicio que están prestando los equipos; por lo tanto. Se puede considerar que el mantenimiento es la serie de trabajos que hay que ejecutar a fin de mantener el servicio para el cual cierto equipo fue diseñado; el mantenimiento se debe al hombre tal como se expresa en la siguiente oración: la naturaleza crea pero no mantiene; por lo tanto, el mantener es un atributo del hombre.

Para que los trabajos de mantenimiento sean eficientes es necesario el control, la planeación del trabajo y la distribución correcta de la fuerza humana, logrando así que se reduzcan costos y tiempo de paro de los equipos de trabajo.

En cualquier caso el personal de mantenimiento será el responsable de la conservación de la maquinaria o el equipo, ya que su labor esta enfocada a que no se pierda el servicio que presta este. Es inadmisibles pensar que tiene prioridad alguna ampliación o reconstrucción del equipo, sobre las labores de mantenimiento, puesto que de las labores de mantenimiento se obtienen mayores beneficios.

No se trata solamente de mantener, conservar y prevenir fallas, aumentando la "Vida útil" de los equipos, sino que estos garanticen un retorno de las inversiones. Mantenimiento es también el conjunto de operaciones que tiene como objetivo, asegurar un máximo de eficiencia de los equipos, con la menor cantidad de paros empleados en la ejecución de reparaciones.

Para que el personal de mantenimiento obtenga un criterio sustentado en bases firmes, es necesario establecer políticas de empresa que determinen como actuar en los distintos casos presentados, pudiendo sistematizar el trabajo, obteniendo a la vez una simplificación y aumento del rendimiento.

Los trabajos de mantenimiento exigen calidad, y sobre todo la aplicación de un criterio económico profundo. Existen ocasiones en las cuales es necesario realizar reparaciones de emergencia, pero estas deben ser de alta calidad, a fin de programar posteriormente una reparación completa, pues de otra manera quizás se afectaría demasiado el servicio de la unidad, estas circunstancias deben ser supervisadas por una persona de mantenimiento que domine a la perfección estos conceptos.

1.6.3.1 Mantenimiento correctivo

Es parecido al de avería, se diferencian en que el correctivo se encarga solamente de reparar el daño o sustituir la pieza que ocasiono el desperfecto por otro similar. En tanto que el mantenimiento correctivo, se encarga no solo de sustituir la pieza que ocasiono el desperfecto, sino además identifica las causas que originaron la falla en la pieza, evaluando si es necesario reemplazarla por otra que se ajuste a mejor a las exigencias del ritmo de trabajo y condiciones de operación de la unidad. El mantenimiento correctivo y de avería son los que ocasionan los mayores costos de operación dentro de una empresa.

Las fallas en la maquinaria y equipo se originan por cualquiera de las siguientes fuentes: la maquina o el equipo mismo, el ambiente circundante, el personal que la interviene. Con relación a la maquina o el equipo mismo, depende de las propiedades mecánicas, químicas, eléctricas y electrónicas de sus partes; la calidad de los materiales empleados en ellas, la calidad misma de la marca y el fabricante de la unidad.

El ambiente circundante se toma como una fuente de fallas cuando este es agresivo a la maquina, para alargar la vida de la misma es necesario construir un ambiente adecuado a esta, a fin de reducir las fallas por esta fuente. El personal que la interviene se comporta como una fuente de fallas cuando sus habilidades manuales o de pensamiento lógico son de baja calidad, influyendo también el desconocimiento del equipo a asistir, por lo que la mano de obra de mantenimiento y operación del equipo, debe ser cuidadosamente seleccionada de acuerdo a cantidad y calidad.

El mantenimiento correctivo puede agruparse en dos clases:

- Mantenimiento rutinario
- Mantenimiento de emergencia
- El mantenimiento rutinario: es la corrección de fallas que no afectan mucho a los sistemas.
- El mantenimiento correctivo de emergencia: se origina por las fallas de equipo, instalaciones, edificios, etc., que requieren ser corregidos en plazo breve.

En el medio latinoamericano institucional, empresarial e industrial prevalece, el tipo de mantenimiento correctivo de emergencia.

1.6.3.2 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se define como el conjunto de acciones y medios para evitar cualquier falla y avería en la maquinaria y equipo cuando estos estén en operación debido a su uso prolongado. Puede delimitarse como la conservación planeada de las máquinas, su función es conocer sistemáticamente el estado de máquinas e instalaciones, para programar en los

momentos más oportunos y de menos impacto en la producción, las acciones que trataran de eliminar las averías que originan las interrupciones, teniendo como finalidad impedir que se presenten averías y reducirlas al mínimo, tomando para ello el tiempo necesario para la inspección de la maquinaria, el cambio de repuestos y la aplicación correcta y constante de lubricantes.

El mantenimiento preventivo consiste básicamente en la serie de trabajos a desarrollar en la maquinaria y equipo, para evitar interrupciones en el servicio que proporciona. Estos trabajos, generalmente son tomados de manuales de fabricantes, ya que estos dan los puntos de las unidades a los cuales hay que presentarles mayor atención. En ocasiones las recomendaciones del fabricante se modifican con el objeto de establecer un sistema adecuado a las necesidades locales, tomando en cuenta los puntos de vista que hacen los técnicos de mantenimiento en cada especialidad. La base del mantenimiento preventivo consiste en establecer una serie de controles que permitan detectar, cuando la maquinaria está dando el rendimiento deseado, sin que esta sobrepase los límites calculados de tolerancia de trabajo, previamente establecidos por el fabricante.

Una de las principales herramientas del mantenimiento preventivo son los programas, los cuales representan una serie de rutinas bien definidas y establecidas, con ellos puede reducir considerablemente los costos de averías no programadas; sus funciones principales son: efectuar constantes pruebas y verificaciones de la maquinaria desde el punto de vista del operador; efectuar excepcionalmente pruebas y verificaciones sobre alguna parte de la maquinaria cuando existan sospechas de falla; efectuar excepcionalmente pruebas y verificaciones sobre alguna parte de la maquinaria cuando existan sospechas de falla; efectuar excepcionalmente pruebas y verificaciones sobre el

comportamiento de la maquinaria, para comprobar que está trabajando aun en situaciones de tolerancia.

En la tentativa de reducir las averías, la extensión de las operaciones de mantenimiento preventivo puede llegar a tal punto que su costo exceda al de las averías. Incumbe al ingeniero encargado de mantenimiento preventivo, determinar el punto de equilibrio entre costos de averías y mantenimiento preventivo.

1.6.3.3 Mantenimiento predictivo

Mantenimiento efectuado de acuerdo a información dada por un aparato de control permanente. Consiste en inspeccionar los equipos a intervalos regulares y tomar acción para prevenir las fallas o evitar las consecuencias de las mismas según condición. Incluye tanto las inspecciones objetivas (con instrumentos) y subjetivas (con los sentidos), como la reparación del defecto (falla potencial).

Este mantenimiento se maneja bajo la filosofía de entrar en acción antes de que se presente falla alguna en la maquinaria y equipo, con la diferencia en relación al mantenimiento preventivo, que se detecta la falla, se monitorea la progresión de la misma, estableciéndose las reparaciones necesarias en ella en un tiempo menor al especificado en las rutas de mantenimiento preventivo, antes aun de que ocurra un paro total del equipo analizado.

2. EVALUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Aquí se suministra información del sistema de enfriamiento que opera actualmente dentro de las distintas plantas de producción; se identificarán las herramientas y componentes que son útiles para los distintos dispositivos de enfriamiento, el mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo que se aplica en dichos módulos; enfatizando específicamente en la explicación de la probable necesidad del diseño de un sistema de enfriamiento adicional destinado exclusivamente para la generación de electricidad.

2.1 Agua de enfriamiento

2.1.1 Uso del agua para enfriamiento

Muchos factores hacen del agua un excelente refrigerante, tales como:

- Es normalmente abundante
- Es fácilmente utilizable: es de fácil manejo
- Es poco costosa.
- Puede transportar (acarrear) grandes cantidades de calor por unidad de volumen.
- No se expande ni se comprime significativamente, dentro de los rangos de temperatura normalmente usados.
- No se descompone.

2.1.2 Fuentes de agua de enfriamiento

Se pueden usar como fuentes de agua de enfriamiento:

- **Agua fresca:** Es la fuente principal de agua de reposición para los sistemas de agua de enfriamiento. El agua fresca puede ser: agua superficial (ríos, arroyos, reservorios) o agua subterránea (agua de pozos poco profundos o profundos). En general, los suministros de agua subterránea son más consistentes en composición y contienen menos materia suspendida que los suministros de agua superficiales, los cuales son directamente afectados por las lluvias, erosión y otras condiciones ambientales.
- **Agua de mar y aguas residuales:** Debido a las consideraciones ambientales, al costo del agua y al agua utilizable, algunas plantas usan agua de mar y aguas residuales, tratadas en plantas de efluentes, como fuentes de agua de enfriamiento. Se debe prestar mucha atención al diseño y tratamiento de los sistemas de tratamiento de agua de enfriamiento, que usan estas fuentes de agua para obtener desempeños confiables y larga vida.

2.1.3 Principales propiedades del agua de enfriamiento

En general las propiedades químicas más importantes del agua de enfriamiento son:

- **Conductividad:** Es una medida de la habilidad para conducir la electricidad. En agua de enfriamiento, la conductividad indica la cantidad de minerales y gases disueltos en el agua. La conductividad es medida en microhmios y puede variar de muy pocas unidades para agua destilada, a más de 10,000 para el agua salada.
- **pH:** Da una indicación de acidez o basicidad del agua. La escala del pH va del 0 al 14, donde el cero representa la máxima acidez y el 14 la máxima basicidad.
- **Alcalinidad:** En el agua de enfriamiento dos formas de alcalinidad juegan un rol clave, ellas son la alcalinidad de carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$) y la alcalinidad de bicarbonatos (HCO_3^-)
- **Dureza:** Se refiere a la cantidad de minerales de calcio y magnesio presentes en el agua. La dureza en agua natural puede variar de unas pocas partes por millón (ppm) a por encima de 800 ppm.

2.1.4 Importancia de las principales propiedades del agua, en los sistemas de agua de refrigeración

Cada una de las propiedades claves del agua tienen un impacto directo en los cuatro principales problemas de los sistemas de agua de enfriamiento: corrosión, incrustaciones, ensuciamiento y contaminación microbiológica. Estas propiedades también afectan los programas de tratamiento diseñados para controlar los problemas.

- **Conductividad:** Los programas de tratamiento del agua de enfriamiento funcionarán dentro de rangos específicos de conductividad; el rango dependerá del diseño del agua de enfriamiento particular, de las características y del tipo del programa químico.
- **pH:** El control de pH es crítico para la mayoría de los programas de tratamiento de agua de enfriamiento. En general, cuando el pH está debajo de los rangos recomendados la probabilidad de corrosión se incrementa y cuando el pH está por encima de los rangos recomendados, la probabilidad de formación de incrustaciones se incrementa. La efectividad de muchos biocidas también depende del pH; en consecuencia pH's altos o bajos pueden permitir el crecimiento y desarrollo de problemas microbiológicos.
- **Alcalinidad:** La alcalinidad y el pH están relacionados, ya que un incremento en el pH indica un incremento de la alcalinidad y viceversa. Así como el pH, alcalinidad debajo del rango recomendado incrementa la probabilidad de corrosión; rangos por encima de lo recomendado incrementa la probabilidad de formación de incrustaciones. Cuando existen problemas de corrosión e incrustaciones, el ensuciamiento también será un problema.
- **Dureza:** Los niveles de dureza están usualmente asociados con la tendencia del agua de enfriamiento a formar o no incrustaciones. Los programas químicos para prevenir incrustaciones pueden funcionar solamente cuando los niveles de dureza están dentro del rango especificado.

2.1.5 Tipos de sistemas de enfriamiento de agua más comunes

Existen los siguientes diseños básicos de sistemas de agua de enfriamiento:

- **Sistemas de un sólo paso:** El agua de enfriamiento pasa a través de un equipo de intercambio de calor solamente una vez. Debido a los grandes volúmenes de agua de enfriamiento que son usados, la temperatura del agua se incrementa sólo ligeramente. El contenido mineral del agua de enfriamiento permanece prácticamente sin cambio al pasar a través del sistema. Se usan cuando existe disponibilidad de gran cantidad de agua y el tratamiento puede ser mínimo y generalmente no se usa tratamiento.
- **Sistemas de recirculación cerrados:** Usa la misma agua de enfriamiento repetidamente en un ciclo continuo. Primero, el agua absorbe calor del fluido del proceso y luego lo libera en otro intercambiador de calor. En estos sistemas no se incluye una torre de enfriamiento evaporativa, pero si usan un tratamiento químico. Un caso específico es el sistema de enfriamiento de agua de los vehículos automotores.
- **Sistemas de recirculación abiertos:** Se denominan también sistemas evaporativos y son los más ampliamente usados en el diseño de enfriamiento industrial; usan tratamiento químico. Este sistema consiste de bombas, intercambiadores de calor y torres de enfriamiento. Las bombas mantienen el agua circulando a través de los intercambiadores de calor, donde retiran calor, y de la torre de enfriamiento donde el calor es liberado del agua a través de la evaporación. Debido a la evaporación

(disminución del volumen inicial de agua), el agua en los sistemas de agua de enfriamiento abiertos, sufre un incremento en su contenido químico.

Este sistema es el que existe dentro de la planta y el que se procede a detallar en el siguiente apartado.

2.2 Descripción actual del sistema

Ampliando los datos de generación del apartado 1.1.1 de los antecedentes generales, nos vamos a centrar en la planta "Bluref I" la cual cuenta con motores de combustión interna para la electro generación. Para tal objeto se hace necesario recalcar en el sistema de enfriamiento en general de un motor MAK lx8M552C. Dichos dispositivos de generación pueden llegar a una Potencia Nominal Instalada de 5,400 KW a más de 500 revoluciones por minuto.

Para el proceso de arranque se deben de guardar ciertos parámetros por prevención del buen funcionamiento del mismo; como por ejemplo la presión del aceite en el último cojinete del árbol de levas con revoluciones del motor (de 4 a 5 bar); la presión del agua de refrigeración (de 2.5 a 5 bar); la presión del combustible antes de las bombas de inyección (de 3 a 5 bar); presión de aire para un adecuado arranque (de 18 a 30 bar); el agua de refrigeración a la salida del motor (80 a 85⁰C).

2.2.1 Proceso

En el procedimiento de arranque del motor es necesario una etapa de pre-calentamiento del agua llevando desde la temperatura ambiente hasta 52⁰C, para iniciar el recorrido del circuito, mientras se da la etapa de pre-calentamiento existe una recirculación interna gracias a una electro válvula de tres vías quien se encarga de determinar el paso al circuito completo del agua con la temperatura adecuada. Posteriormente a adquirir la temperatura necesaria el agua ya entra de lleno al circuito de enfriamiento del motor pasando directamente por éste y llegando a sufrir un aumento considerable de temperatura tanto HT como LT (separándose cada cual en su ramal respectivo). A la salida del motor es necesario enfriar el agua de nuevo para reiniciar el ciclo de refrigeración; por lo que es necesario ingresar a un grupo de radiadores.

Luego de describir el ciclo de inicio a fin se procede a resaltar que el hecho de pasar el agua de enfriamiento por un grupo de radiadores implica un gasto considerable e irreducible de energía por lo que el contar con un dispositivo alternativo a dichos grupos es de gran utilidad para un ahorro energético deseado. Los **intercambiadores de calor tipo placa** vienen a realizar la función óptima de “intercambiar el calor” del fluido que sale del motor al fluido que viene del sistema de enfriamiento con el doble propósito de ser una etapa de pre-refrigeración del líquido que sale y pre-calentamiento del líquido que proviene del sistema de enfriamiento para evitar una recirculación interna del líquido enfriado antes de ingresar al motor.

Cabe resaltar que a la hora de no tener disponibles los intercambiadores de calor se hace necesario volver a utilizar los grupos de radiadores provocando un gasto excesivo en los costos de operaciones de producción.

2.2.1.1 Agua de refrigeración para la circulación

Aquí se trata de un circuito de agua de refrigeración cerrado con un volumen de agua de circulación que debe mantenerse siempre constante por relleno, dependiendo de las pérdidas por evaporación. El control de la cantidad de refrigerante de circulación será efectuado en el recipiente de compensación.

A causa de la elevación de la densidad de potencia con mayor derivación térmica, los motores diesel modernos exigen requisitos especiales del agua de refrigeración de circulación. Solamente un agua de refrigeración exactamente preparada, controlada y mantenida puede cumplir estas exigencias. Al no realizar bien los trabajos de preparación, de control y de mantenimiento, pueden surgir a muy corto plazo daños por corrosión.

2.2.1.2 Requisitos del agua de refrigeración

Deberá utilizarse siempre agua clara y limpia. Adecuada es:

- Agua natural (pozos, fuentes)
- Condensado y
- Agua totalmente desalinizada.

Los valores de análisis de agua fresca deberán quedar dentro de los valores indicados en la siguiente tabla (ver tabla 1).

Tabla I. Magnitudes adecuadas para agua fresca de motores.

	Aceite anticorrosivo	Químicos
Suma -tierras alcalinas mmol/tr	0,5 - 2,2	0 - 1,8
-dureza *°Dgh	3 - 12	0 - 10
Valor pH para 20°C	6,5 - 8	
Contenido de iones cloro mg/l	max. 100	
Suma de cloro + iones de sulfato mg/l	max. 200	

2.2.1.3 Durezas del agua:

El agua que no corresponda con los requisitos mencionados en la tabla anterior, deberá endurecerse o ablandarse según sea el caso. El agua de dureza superior a los 12° (10°) dGH deberá mezclarse con agua condensada o con agua totalmente desalinificada (por intercambio de iones) y llevarse al margen de dureza prescrito. El condensado y agua totalmente desalinizada se endurecerá con sulfato magnésico a 3° dPH, si se desea utilizar aceites anticorrosivos.

2.2.1.4 Dosificación

Para alcanzar 1° dPH será necesario **21.4 g de SO₄ Mg / tonelada de agua.**

Dureza alemana total = dureza constante + Dureza de carbonato

$$\text{dGH} = \text{dPH} + \text{dKH}$$

Comparación de las durezas usuales:

1° dGH	=	0.18 mmol / l
1° dGH	=	1.79° dureza francesa
1° dGH	=	1.25° dureza británica
1° dGH	=	17.9 dureza EEUU

2.2.1.5 Valor de pH adecuado:

Concentración de los iones de hidrógeno

< 7 = ácida, 7 = neutra, > 7 = alcalina.

La protección anticorrosiva de químicos generalmente muestra mejor eficacia con durezas del agua inferiores (-0). Durezas más elevadas y la falta de la estabilización de la dureza pueden provocar reacciones con las sustancias contenidas en el agua y precipitaciones, reduciendo así el efecto protector.

2.2.2 Equipo

El circuito de enfriamiento de un motor de estas magnitudes puede funcionar únicamente con componentes que logren cumplir los parámetros requeridos para el buen funcionamiento del mismo; tal y como se describió en el proceso de arranque de un motor, el agua debe de ingresar al circuito a determinada temperatura y con una alta presión, sub-ramificándose en HT y LT, a continuación se procederá a detallar cada uno de los componentes en su respectiva temperatura:

2.2.2.1 Componentes HT (High Temperature)

- Bomba HT de suministro del sistema de enfriamiento de la Placa.
- 2 manómetros análogos
- Bomba HT de circulación interna del motor
- Refrigerador del aire de carga (Charge air cooler)
- Intercambiador tipo Placa HT
- Grupo de radiadores
- 4 Válvulas tipo mariposa

2.2.2.2 Componentes LT (Low Temperature)

- Bomba LT de suministro del sistema de enfriamiento de la Placa.
- 2 manómetros análogos
- Bomba LT de circulación interna del motor
- 2da. Etapa del Refrigerador del aire de carga (Charge air cooler 2nd. Stage)
- Refrigerador de aceite lubricante (Lube oil cooler)
- Intercambiador de placas LT
- Grupo de radiadores
- 4 Válvulas tipo mariposa

2.2.2.3 Componentes en común

- Filtro en Y (para separación de agua HT y LT)
- Flautas de enfriamiento
- Techos
- Canales

- Suavizadores
- Torre mecánica de enfriamiento
- Torre Marley
- Piscinas de captación de agua (tanques)
- Válvulas de mariposa.
- Electro válvula de tres vías

2.2.3 Tratamiento de agua

2.2.3.1 Parámetros del circuito

2.2.3.1.1 Recirculación (R)

Es el caudal de agua que circula por el circuito, dando el servicio de enfriamiento esperado.

2.2.3.1.2 Reposición (M)

Es el caudal de agua nueva que se debe agregar al circuito para reponer las salidas del mismo (evaporación, arrastre y purga).

2.2.3.1.3 Evaporación (E)

$$\Delta H_v \times E = R \times C_p \times \Delta T$$

$$\Delta H_{v-25^\circ C} = 1050 \text{ BTU / lb} \quad C_p = 1 \text{ BTU / lb-}^\circ F$$

$$E \cong 0.001 \times R \times \Delta T \quad E \text{ es el 1\% de } R \text{ cada } 10^\circ F \text{ de enfriamiento (aprox.)}$$

2.2.3.1.4 Arrastre (A)

Varía según el diseño de la torre. Depende del ventilador, toberas, relleno. Varía entre 0.05 a 0.3 % para torres de tiro forzado. No se puede determinar teóricamente.

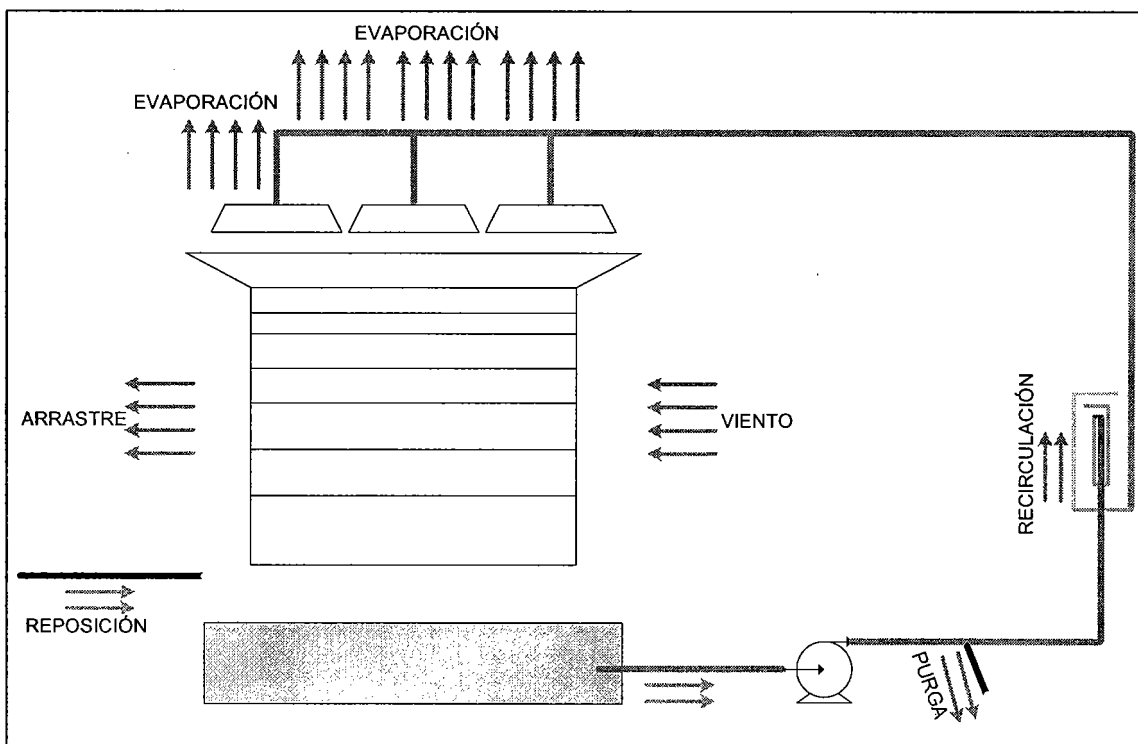
2.2.3.1.5 Purga (P)

Escape intencional de agua que se regula en función de los ciclos de concentración.

2.2.3.1.6 Ciclos de concentración (C)

Es el número de veces que se ha concentrado el agua recirculada (no necesariamente es un número entero). Se determina a partir de un elemento que no se descomponga, volatilice o precipite, por ejemplo el Cl⁻.

Figura 3. Esquema de los parámetros del circuito.



Fuente: Elaboración propia.

2.2.3.2 Volumen del circuito

Otro parámetro característico del circuito es el volumen total de líquido contenido en el mismo. Para su determinación se utiliza el “**Salt Test**”, que consiste en agregar una cierta cantidad m (pulso) de un compuesto que se disuelva fácilmente en el agua, que no precipite, no se descomponga o volatilice y cuya concentración sea de simple determinación (por ejemplo cloruros). Se realiza un seguimiento de la concentración de cloruros luego de agregado el pulso hasta obtener una concentración estable.

Se calcula:

$$\Delta x_{Cl} = x_f - x_i.$$

$$V = \frac{m}{\Delta x_{Cl}}$$

2.2.3.3 Tiempo de retención

Se define el tiempo de retención, en condiciones de estado estacionario, como el tiempo teórico que un componente determinado, alimentado en forma continua, demorará en salir del circuito.

$$TR = \frac{V}{B}$$

A partir de este concepto se puede determinar cómo varía la concentración de un producto de agregado puntual, a medida que se va perdiendo por la purga.

Si m = masa de producto disuelto a tiempo t

$$dm = m_{\text{entrada}} - m_{\text{salida}} = 0 - m_{\text{salida}} = -B \frac{m}{V} dt$$

Integrando y expresando como concentraciones:

$$x = x_i e^{-\frac{B}{V}t}$$

Para el caso más general, donde hay agregado continuo de producto:

$$x(t) = x_i e^{-\frac{B}{V}t} + x_M \frac{M}{B} \left(1 - e^{-\frac{B}{V}t} \right)$$

2.2.3.4 Tiempo de vida media

Para el caso de un reactivo que se agrega en forma puntual ($x_m = 0$), se define la vida media como el tiempo que demora en disminuir su concentración a la mitad de la inicial.

$$x(t_{0.5}) = \frac{1}{2} x_i$$

$$0.5 = e^{-\frac{B}{V}t_{0.5}}$$

$$t_{0.5} = 0.693 \frac{V}{B}$$

2.2.3.5 Variación de ciclos de concentración en función de purgas

Si se quiere disminuir los ciclos de concentración modificando el régimen de purgas, puedo calcular cuánto tiempo demorará dicho cambio.

c_1 = ciclos de concentración inicial

c_2 = ciclos de concentración final

B = nuevo caudal de purga

$$(c_1 - c_2)x_M V = \frac{c_1 + c_2}{2} Bx_M t - Mx_M t$$

$$t = \frac{(c_1 - c_2)V}{\frac{B(c_1 + c_2)}{2} - M}$$

2.2.4 Problemas que se presentan en el sistema de enfriamiento

2.2.4.1 Crecimiento microbiano

Es uno de los problemas más frecuentes: agua a temperaturas próximas a 35°C, altas concentraciones de O₂, luz UV, constituyen un microclima adecuado para crecimiento de microorganismos (algas, bacterias, hongos).

Uno de los efectos que se producen es la obstrucción de tuberías, relleno, etc., disminuyendo la eficiencia del sistema.

Otros microorganismos favorecen la corrosión: absorben o desprenden O₂, favorecen reacciones catódicas (generan H₂), forman depósitos (favorecen la aireación diferencial).

No es viable un control mecánico de los microorganismos que se desarrollan, por lo que se impone un tratamiento químico de los mismos.

Agentes desinfectantes

- Cloro
- Bromo
- Dióxido de cloro

Solución: dosificación de biocidas específicos para cada tipo de microorganismo, de forma tal de que la concentración del biocida sea adecuada.

2.2.4.2 Incrustaciones

El agua utilizada para enfriamiento es un agua de origen natural, que se verá sometida a calentamiento, aún cuando sea mucho menor al que se da en un generador de vapor. Por lo tanto, encontraremos formación de incrustaciones, principalmente CaCO_3 (también MgCO_3 , CaSO_4).

Es posible estudiar las características particulares del agua que circula por el sistema, para determinar su tendencia a precipitar o disolver depósitos cálcicos. Para esto se emplean los Índices desarrollados por Langelier, Ryznar y Puckorius (ver anexos); dichos índices serán ampliados para su mejor análisis en el apartado de Anexos del presente trabajo de investigación.

2.2.4.3 Control de incrustaciones

2.2.4.3.1 Crecimiento microbiano

Debemos de tener en consideración varios parámetros para el evitar el crecimiento microbiano dentro del dispositivo de enfriamiento en sí, para lo cual debemos de tomar las siguientes consideraciones:

- Calidad esperada del agua concentrada.
- Componentes de enfriamiento con bajo flujo.
- Condiciones de operación tales como temperaturas máximas del agua y temperaturas de película así como flujos.

Dentro de las incrustaciones del orden microbiano que se pueden dar están las algas, que aunque parezca incongruente son seres vivos que llegan a penetrar las tuberías, aspersores, y rellenos de torres de refrigeración de agua en nuestro sistema de enfriamiento. La siguiente imagen puede dar al lector un ejemplo de lo anterior:

Figura 4. Incrustación de alga en un aspersor de agua.

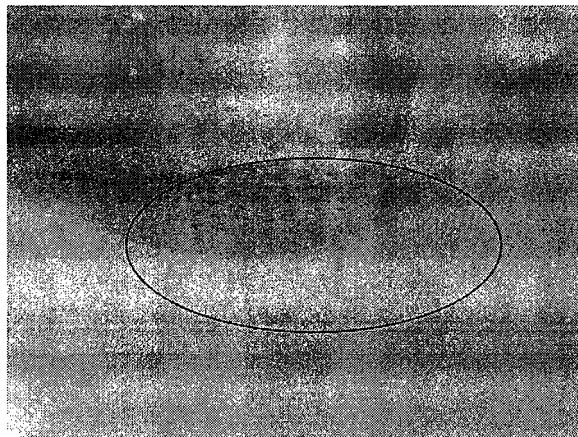
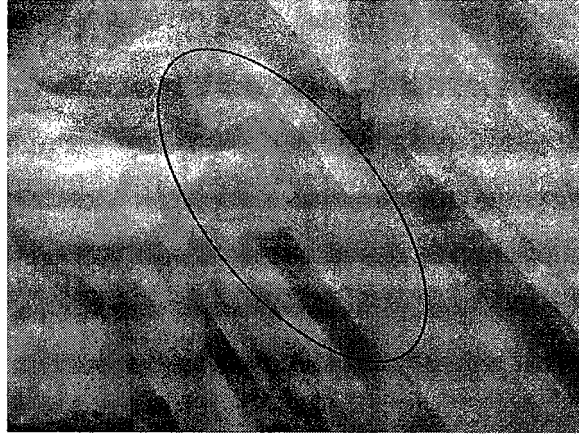


Figura 5. Limpieza de algas incrustadas en rellenos de torres de enfriamiento



2.2.4.3.2 Minerales críticos para potencial de incrustación en aguas recuperadas:

Otro factor de incrustación que puede alterar el buen funcionamiento de nuestro sistema, son los siguientes minerales:

- Calcio
- Magnesio
- Sulfatos
- Alcalinidad
- Fosfatos
- Sílice
- Fluoruros
- Carbonato de Calcio (rara vez encontrado)
- Sulfato de Calcio (bastante común)
- Fosfato de Calcio (muy común)
- Fluoruro de Calcio (rara vez encontrado)
- Silicato de Magnesio (rara vez encontrado)
- Silicato (bastante común)

Combinaciones de estos minerales que puedan producir incrustaciones en el agua de enfriamiento concentrada generalmente relacionado a la frecuencia de ocurrencia. El agua recuperada empleada como repuesto de un sistema de enfriamiento generalmente tiene alto potencial de incrustación debido principalmente a fosfatos presentes aunque puede presentarse otro tipo de incrustación.

La calidad final del agua de enfriamiento debe ser evaluada a las temperaturas y flujos encontrados en el equipo de intercambio para determinar los diferentes potenciales de incrustación. Existen inhibidores de incrustación excelentes, particularmente para incrustación por fosfatos, principalmente polímeros modificados, designados frecuentemente como co-polímeros o ter-polímeros. En conjunto con ácidos, pueden controlar nivel de fosfatos.

Algunas consideraciones a tener en cuenta con relación a posibles depósitos en los sistemas de enfriamiento, son las precauciones de que:

TDS < 2500 mg/L

$[Ca^{++}]_{CaCO_3} < 300$

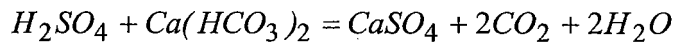
$[Ca^{++}]_{CaCO_3} \times [SO_4^{--}]_{CaCO_3} < 500.000$

$[SiO_2] < 120 \text{ mg/L}$

También es posible utilizar sistemas de tratamiento que modifiquen algunas de las sustancias presentes o sus características, para poder trabajar en condiciones más seguras. Estos sistemas pueden agruparse en las siguientes dos categorías.

2.2.4.3.3 Tratamiento ácido

El agregado de ácido sulfúrico reduce la alcalinidad presente en el agua según:



Esto disminuye la probabilidad de formación de $CaSO_4$, pero es un tratamiento peligroso por agregar ácido al sistema (requiere un buen control), teniendo como inconveniente también el causar daños irreversibles a los empaques del sistema.

2.2.4.3.4 Tratamiento alcalino

Otra opción es mantener el pH del circuito en valores alcalinos y agregar productos que:

- Mantengan el calcio en solución, secuestrantes o dispersantes (fosfonatos, poliacrilatos).
- Modifiquen la estructura cristalina de los precipitados de calcio, para que formen lodos que puedan ser removidos por purga (polifosfatos, polímeros de bajo PM – menor a 100.000 – por ej. Polimaleatos, copolímeros de polimaleatos con poliestireno sulfonado).

2.2.4.4 Corrosión

La solución ideal es la de contemplar la opción de mantener el pH del agua del circuito en valores alcalinos y agregar productos que:

- Mantengan el calcio en solución, secuestrantes o dispersantes (fosfonatos, poliacrilatos).
- Modifiquen la estructura cristalina de los precipitados de calcio, para que formen lodos que puedan ser removidos por purga (polifosfatos, polímeros de bajo PM – menor a 100.000 – por ej. Polimaleatos, copolímeros de polimaleatos con poliestireno sulfonado).

Condiciones de corrosión:

Existen tres requisitos críticos

- Calidad de concentrado de agua de torre de enfriamiento esperada más frecuentemente “peor” caso, aunque puede esperarse también “promedio”
- Identificación de metales (aleaciones) en contacto con el concentrado de la torre
 - Primeramente tubería de intercambiadores/ enfriadores/ condensadores
 - En segundo lugar todos los demás metales del sistema incluyendo líneas, caja de agua, repartidores y torre de enfriamiento

- Condiciones de operación que “verá” el metal relativas a temperatura y flujos de agua, principalmente relacionadas con tubos de intercambiadores de calor y otros metales.

- El Amoníaco es la mayor preocupación con aleaciones de cobre. En el caso de Al 304 son los altos cloruros.
- Todos los agentes de corrosión incrementados, excepto el amoníaco, pueden eliminarse a través de químicos para tratamiento con buen control.
- Los fosfatos y los nitratos (agua recuperada con amoníaco que ha sido nitrificada) pueden proporcionar todo o parte de los requisitos de inhibidores de corrosión para acero de baja aleación.

2.2.5 Instrumentación y control

Luego de haber analizado cada uno de los factores que pueden afectar de manera directa el funcionamiento óptimo de nuestro sistema de enfriamiento, lo ideal es mantener un monitoreo y control adecuado para evitar el crecimiento elevado de incrustaciones y corrosión en distintas partes del circuito. Dicho control debe de llevarse y registrarse de manera periódica, siendo ayudado por observación directa del circuito y por análisis de laboratorio, siendo los últimos esenciales para un “mantenimiento preventivo” que nos anticipe a cualquier problema que se esté suscitando dentro del circuito de enfriamiento. A continuación se procederá a enumerar la instrumentación de laboratorio para dichos análisis, pero en el apartado 4.4.2 (Materiales a utilizar en el sistema de enfriamiento) se ampliarán los procedimientos y límites de control en las pruebas.

2.2.5.1 Instrumentación para el análisis de pH

- Estuche con tiras plásticas indicadoras de pH
- Frascos con muestras de agua
- Equipo de protección personal

2.2.5.2 Instrumentación para el análisis de dureza:

- Bureta automática de 25 ml
- Frasco con muestra
- Probeta graduada de 50 ml
- Cucharita de bronce
- Matraz Erlenmeyer
- Equipo de protección personal

2.2.5.3 Instrumentación para el análisis de conductividad:

- Conductivímetro
- Frascos con muestras
- Equipo de protección personal


2.2.5.4 Instrumentación para al análisis de hierro:

- Espectrofotómetro DR 2010
- Frascos para muestras de 25 ml
- Frascos con muestras
- Equipo de protección personal

2.2.5.5 Datos de los parámetros del circuito:


Estos fueron determinados por una empresa que presta el servicio de venta de químicos para el tratamiento de sistemas de refrigeración para las plantas de generación. Utilizando las ecuaciones anteriores para el cálculo de los parámetros del circuito de circulación del dispositivo de refrigeración de agua, ésta empresa con la compra de accesorios y químicos para el tratamiento del agua de enfriamiento procedió a dar los siguientes resultados:

Tabla II. Resultados de dimensiones de parámetros del circuito.



SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO					
Empresa	LIZTEX	DATOS	TORRE DE ENFRIAMIENTO	0	0
Atención a	ING. PABLO RODRÍGUEZ		VOLUMEN DE RECIRCULACION (gpm)	700	
Fecha	15/04/09	HORAS DE OPERACION	24		
Nombre del responsable	ING. JORGE GONZÁLEZ	DELTA T (°F)	10.4		
Puesto		TEMPERATURA CRITICA (°F)			
Turno	Diurno	VOLUMEN DEL BASIN (galones)	30.000		
EQUIPO EN TRATAMIENTO		VOLUMEN TUBERIA (galones)	5.000		
EQUIPO 1	TORRE DE ENFRIAMIENTO	VOLUMEN TOTAL (galones)	35.000	0	0
EQUIPO 2		CICLOS DE CONCENTRACION	3.00		

Tabla III. Resultados de dimensiones de parámetros del circuito



SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO					
Empresa	LIZTEX	DATOS	TORRE DE ENFRIAMIENTO	0	0
Atención a	ING. PABLO RODRÍGUEZ		VOLUMEN DE RECIRCULACION (gpm)	700	
Fecha	22/04/09	HORAS DE OPERACION	24		
Nombre del responsable	ING. JORGE GONZÁLEZ	DELTA T (°F)	10.4		
Puesto		TEMPERATURA CRITICA (°F)			
Turno	Diurno	VOLUMEN DEL BASIN (galones)	30.000		
EQUIPO EN TRATAMIENTO		VOLUMEN TUBERIA (galones)	5.000		
EQUIPO 1	TORRE DE ENFRIAMIENTO	VOLUMEN TOTAL (galones)	35.000	0	0
EQUIPO 2		CICLOS DE CONCENTRACION	3.00		

2.3 Mantenimiento

El mantenimiento para los accesorios que se describieron en el apartado 2.2.2 en donde se hace una descripción de los componentes del sistema de enfriamiento, a continuación se hace una tabla comparativa de los tres tipos de mantenimiento más usuales en cualquier industria refiriéndose a los componentes mencionados, estos son:

Tabla IV. Descripción de mantenimientos de componentes.

EQUIPO	Mantenimiento Predictivo	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Correctivo
Bombas de suministro	NO EXISTE	Engrase cambio de cojinetes y aceite.	Cambio de sello mecánico
Bombas de circulación	NO EXISTE	Engrase cambio de cojinetes y aceite.	Cambio de sello mecánico
Charge air Cooler	NO EXISTE	Limpieza de filtro	NO EXISTE
Válvulas AMOT	NO EXISTE	NO EXISTE	REEMPLAZO
Intercambiadores tipo Placa	NO EXISTE	Lectura de hojas de datos de temperatura	Limpieza de incrustaciones
Radiadores	NO EXISTE	Lavado a presión con manguera	Mantenimiento eléctrico

Válvulas tipo mariposa	NO EXISTE	Lubricar	Remoción y cambio de válvula
Lube oil Cooler	NO EXISTE	NO EXISTE	NO EXISTE
Filtro en Y	NO EXISTE	Limpieza y purga	Cambio de cedazo
Flautas de enfriamiento	NO EXISTE	Tratamiento químico y anti-algas	Limpieza con cepillos de alambre
Techos	NO EXISTE	Pintura anticorrosiva	Reparación de Goteras
Canales	NO EXISTE	Tratamiento químico y alguicida	Limpieza con cepillos de alambre
Suavizadores	NO EXISTE	Nivelación de químicos y sales	NO EXISTE
Torres mecánicas de enfriamiento	NO EXISTE	Tratamiento químico y anti-algas	Limpieza con cepillos de alambre
Torres Marley	NO EXISTE	Tratamiento químico y alguicida	Limpieza con cepillos de alambre.

2.4 Análisis mecánico actual

2.4.1 Delimitación de los departamentos que necesitan del sistema

El uso directo para los dispositivos de enfriamiento explicados con anterioridad son de uso exclusivo para la planta de Generación Bluref I, ubicada dentro del parque industrial de Industrias Liztex, específicamente para los motores Mak números 3 y 4.

2.4.2 Explicación de requerimientos de temperaturas

Se necesita delimitar las temperaturas de entrada y salida del motor, para lo cual se utilizará una pistola de medición de temperaturas (pirómetro, ver figura 6) en cada punto del sistema de enfriamiento en general (tuberías, bombas, entrada y salida de dispositivos, motor, etc). Las temperaturas necesarias se delimitan en el gráfico mecánico actual (ver figura)

Figura 6. Pirómetro tomando temperaturas de intercambiador de calor



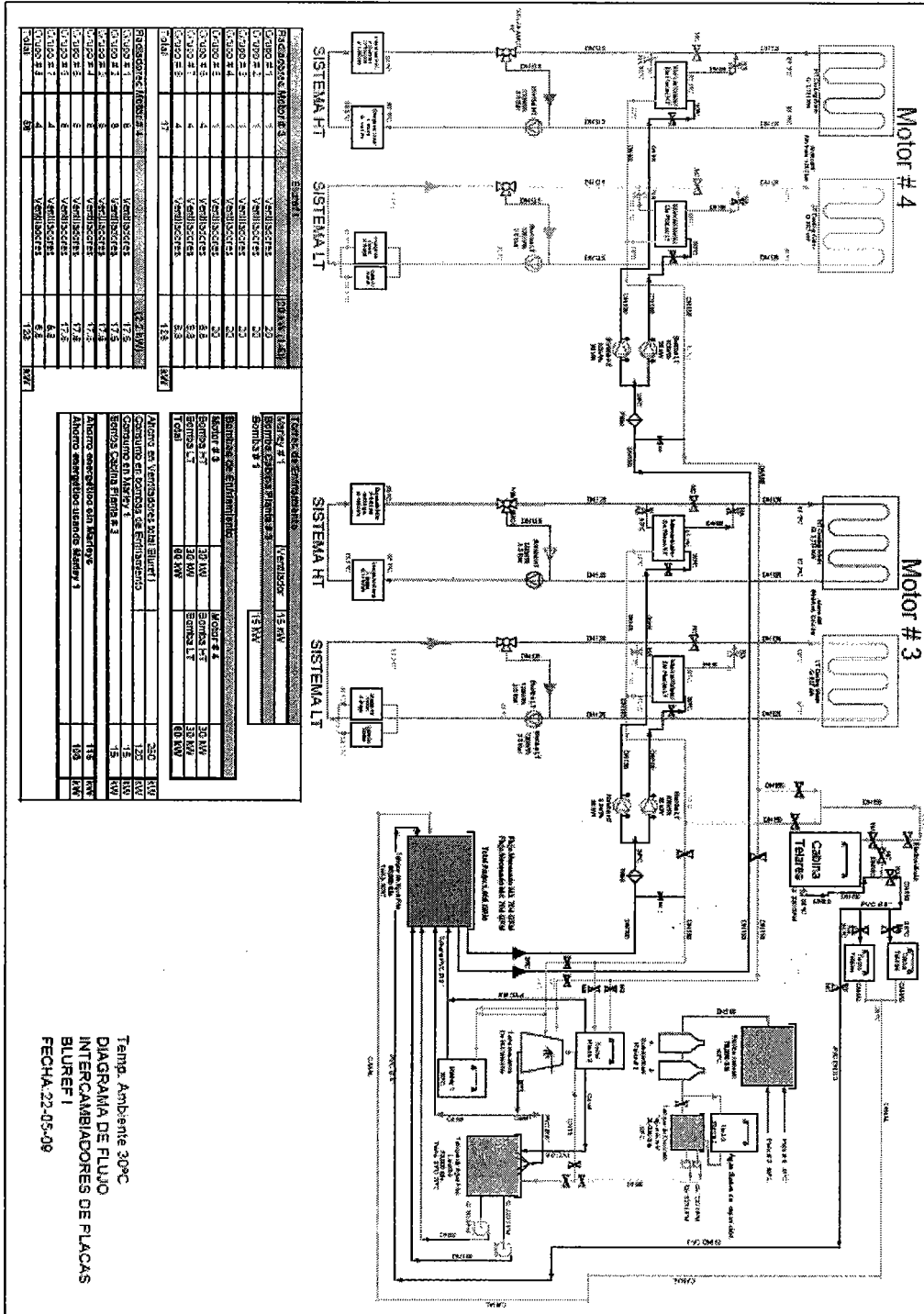
2.4.3 Medición de temperaturas

En un recorrido que abarca en su totalidad el circuito de enfriamiento siendo respaldados por un pirómetro (ver figura 7), a continuación se esquematiza en un dibujo mecánico (figura 8) la trayectoria explicada con anterioridad.

Figura 7. Pirómetro tomando temperatura de entrada al circuito



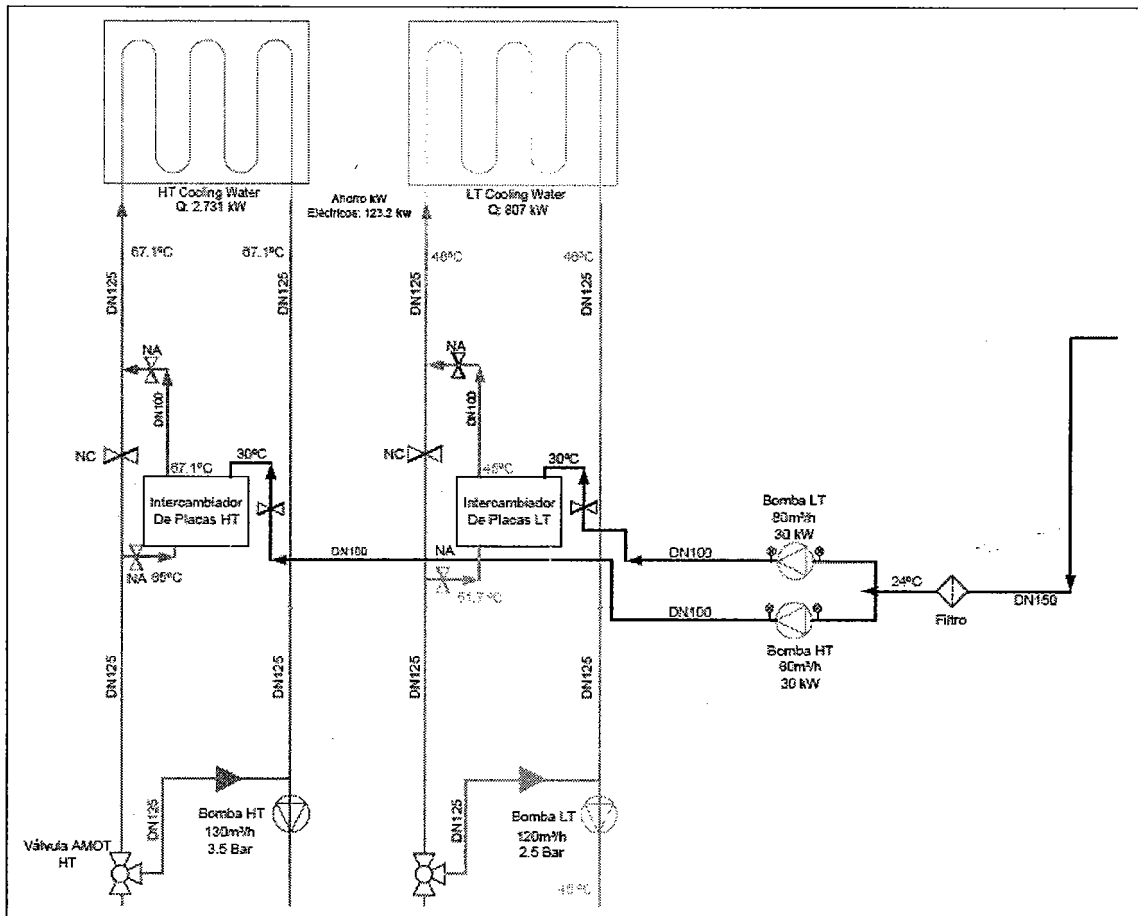
Figura8. Circuito de enfriamiento en planta Bluref I



Fuente: Elaboración propia

2.4.3.1 Temperaturas de entrada

Figura 9. Entrada al circuito de enfriamiento de los Intercambiadores de calor.



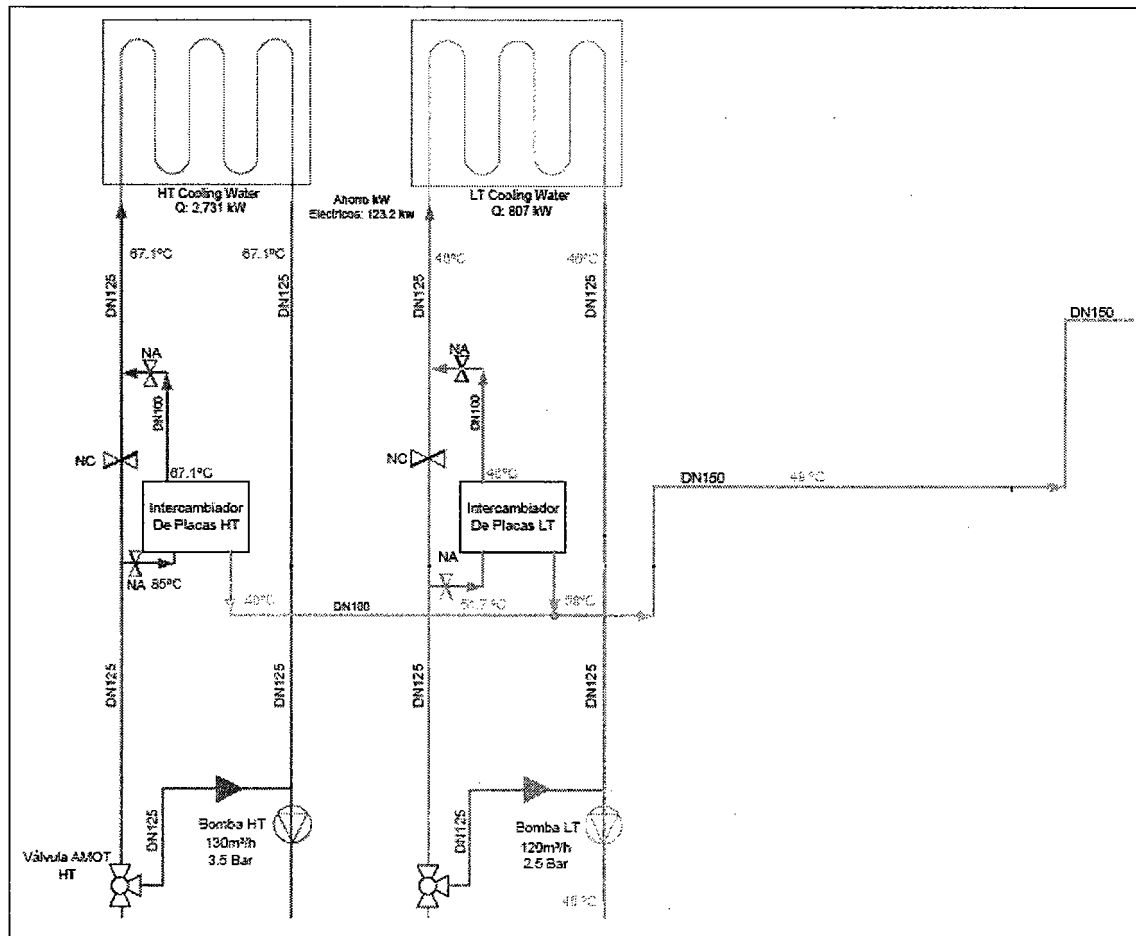
Fuente: Elaboración propia.

El circuito de tubería de color verde oscuro nos detalla la temperatura LT del sistema de enfriamiento de un motor. Cada elemento del circuito se encuentra debidamente señalado así como los datos de la tubería, temperaturas, presiones de bomba, entre otros. La línea de color azul es la tubería de agua de suministro que viene directamente del estanque de agua enfriada por el sistema antes de pasar por los intercambiadores de calor tipo placas.

En el siguiente apartado tendremos la oportunidad de ver el agua que sale de los intercambiadores de calor con destino a pasar de nuevo al sistema de enfriamiento para lograr reducir los 30° C.

2.4.3.2 Temperaturas de salida

Figura 10. Salida del circuito de enfriamiento de los Intercambiadores de calor.



Fuente: Elaboración propia.

En esta figura podemos apreciar el mismo circuito del motor, solo que ahora a la salida de los intercambiadores de calor hay una tubería de color

celeste, la cual ha sido pre-enfriada por los mismos pero al no ser suficiente éste proceso es necesario que inicie el recorrido de enfriamiento.

El recorrido de enfriamiento consiste en subdividir el agua en dos partes, una que va directo a una torre mecánica de enfriamiento y la segunda parte va directamente a un recorrido demasiado largo que puede traer corrosión, impurezas, muchas pérdidas y en consecuencia crear problemas en el circuito de retorno al motor.

Figura 11. Intercambiadores de calor tipo placas.



Figura 12. Medición de temperatura con un pirómetro.



Figura 13. Monitor de control de motores.

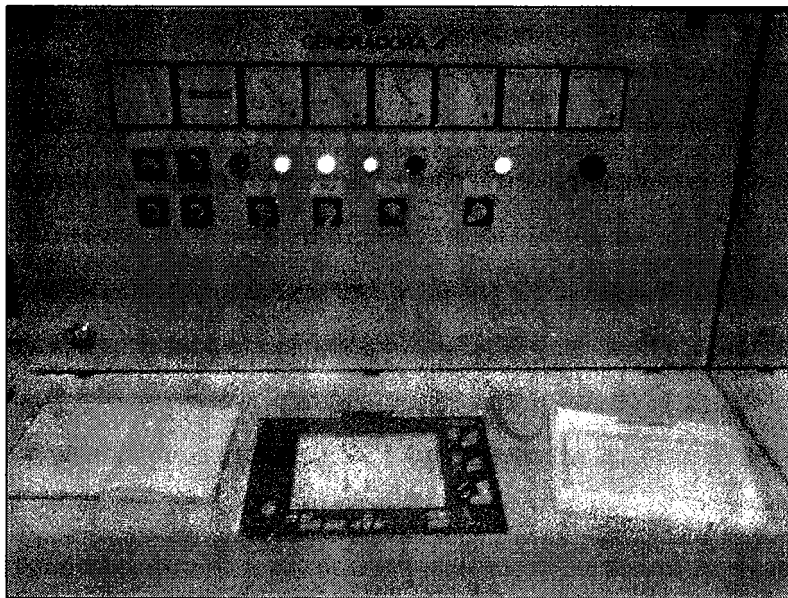


Figura 14. Ingreso al control del sistema de enfriamiento

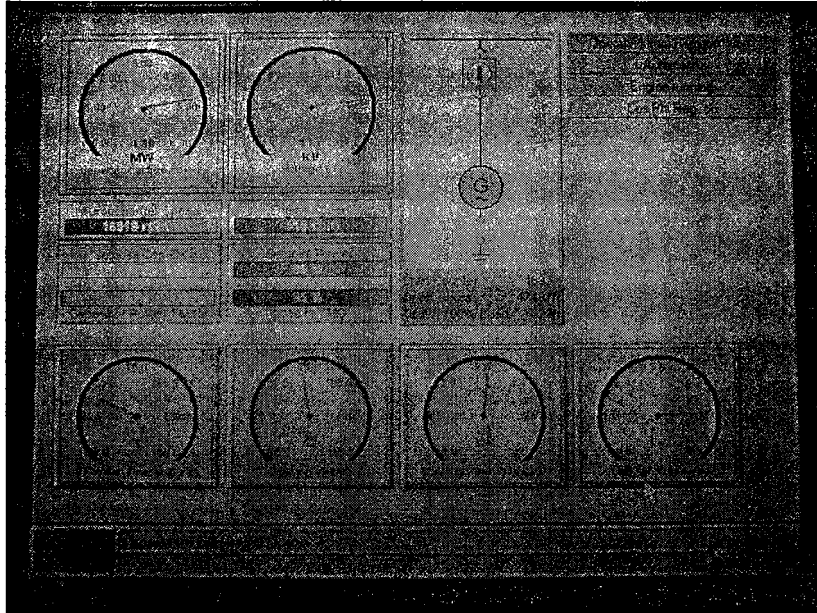
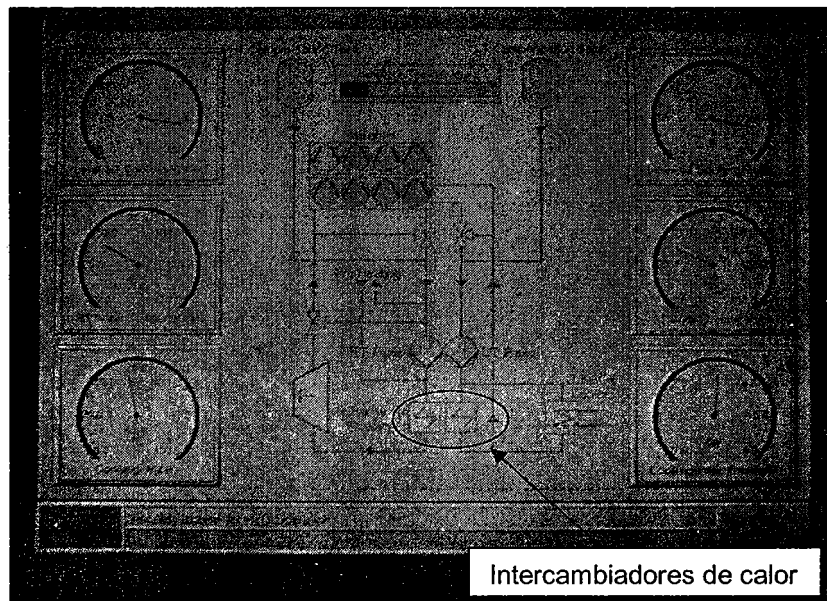


Figura 15. Pleno monitoreo de temperatura y presión en el sistema:



3. PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

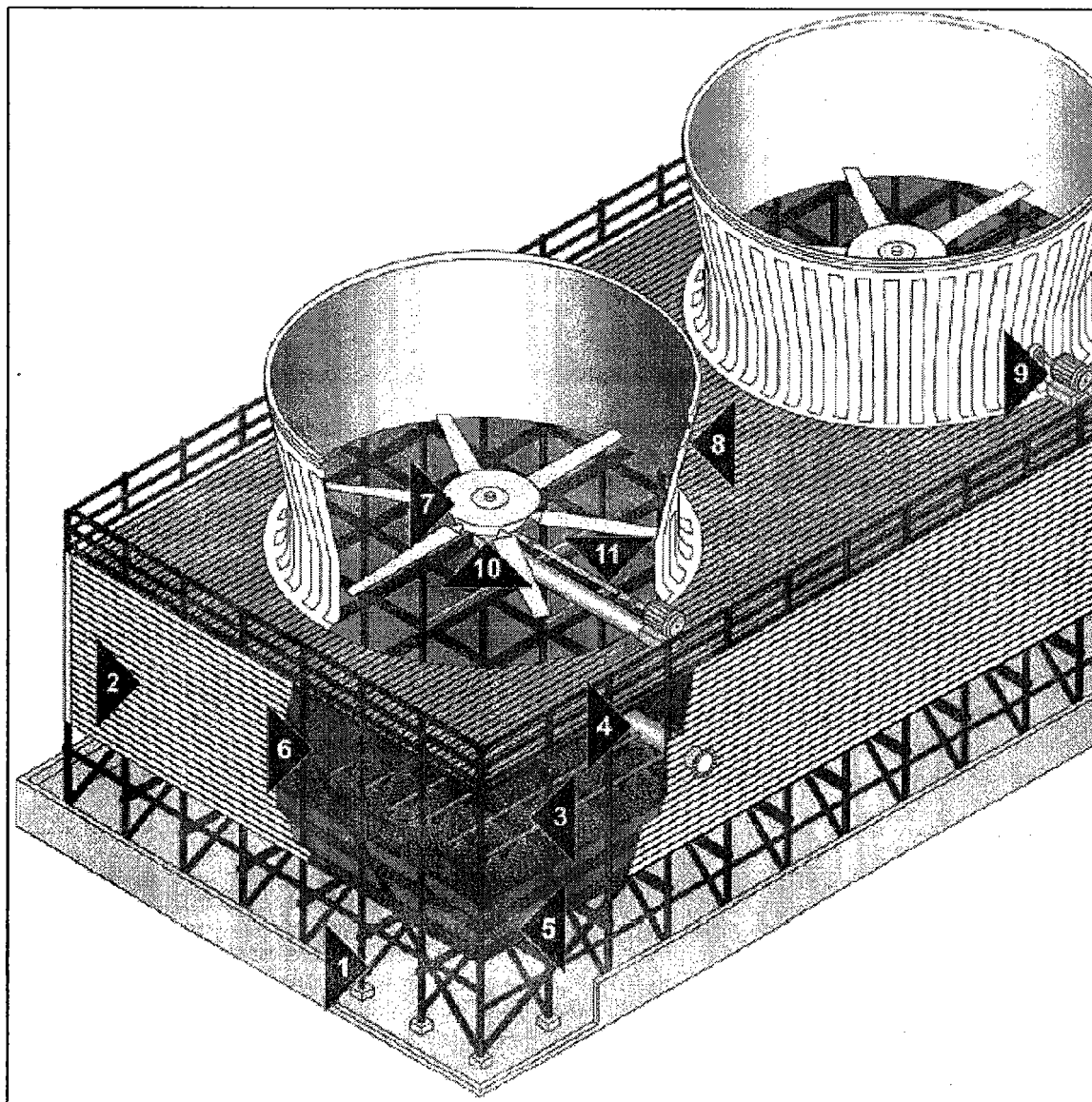
Aquí se identifican las distintas variables que vienen a influir dentro del diseño de un dispositivo de enfriamiento adjunto al existente, con herramientas de evaluación de proyectos para la probable adquisición de accesorios, costos. Otro aspecto importante a tratar es el espacio, el mantenimiento en general, así como investigaciones de carácter mecánico con el objetivo trascendental de lograr los requerimientos necesarios para obtener una reducción en la temperatura del agua que sale de los motores.

3.1 Enumeración de propuestas

En el siguiente apartado se procede a detallar en generalidades las propuestas sugeridas para la ampliación del circuito de enfriamiento; enfocando las opciones a dos alternativas, la primera de ellas es ver una gama de alternativas de torres de enfriamiento de un fabricante; subdividiéndose en tres tipos según sea el material de construcción del relleno de la misma (madera, concreto o fibra de vidrio). La segunda es el diseño basado en un estudio técnico-científico tomando en cuenta variables ambientales y físicas, y sobre todo apoyándonos en el gradiente de temperatura a reducir en el proceso de refrigeración, siendo para este caso una reducción neta desde los 65°C hasta los 35°C, para un caudal constante de 200 m³/h. Dentro de las variables ambientales no debemos de olvidar la época de verano, en donde la temperatura de bulbo seco se mantiene las escalas más altas de todo el año, así como el sistema de control que debe de ampliarse a efecto de poder determinar prematuramente cualquier vicisitud que se llegue a presentar en un futuro no muy lejano y que obligue a cambiar el sistema de enfriamiento, de Intercambiadores de calor, a radiadores.

3.1.1 Torres de enfriamiento GEA.

Figura 16. Ilustración de una torre de enfriamiento GEA



Fuente: GEA Corps.

Las torres de enfriamiento GEA de cualquier tipo tienen los siguientes componentes en común:

1. Estructura de la torre de enfriamiento:

Dependiendo de la aplicación, la estructura es fabricada en concreto armado en sitio, concreto prefabricado, madera tratada químicamente, acero galvanizado, acero inoxidable o resina poliéster reforzado con fibra de vidrio (FRP) - con escaleras marinas, escaleras de rampa, barandales y accesorios.

2. Cubierta exterior de la torre de enfriamiento:

Las paredes exteriores, paredes de viento y particiones son fabricadas con resina poliéster reforzada con fibra de vidrio (FRP), madera tratada químicamente o concreto armado en sitio.

3. Boquillas distribuidoras:

Las boquillas distribuidoras de agua de alto rendimiento para aplicaciones variables, son fabricadas en polipropileno PP.

4. Sistema de distribución de agua:

El tubo de distribución principal (cabezal) es fabricado en acero, FRP, polipropileno PP, polietileno de alta densidad HDPE o canales de concreto, los tubos secundario de distribución (tubos laterales - ramales) son fabricados de polipropileno PP o policloruro de vinilo PVC.

5. Relleno para el enfriamiento:

Los paquetes de relleno tipo laminar de alto rendimiento son fabricados en polipropileno PP, polisulfuro PPS o de policloruro de vinilo PVC utilizados en agua con menores índices de sólidos en suspensión. Para agua con un alto índice de sólidos en suspensión se emplea el relleno de salpiqueo o salpique

fabricados de polipropileno PP o polietileno PE, así mismo tablillas de relleno fabricados en madera, acero inoxidable, policloruro de vinilo PVC entre otros materiales especiales.

6. Eliminador de rocío (DE's);

Se emplean para reducir las pérdidas gotas de agua por arrastre, los cuales son fabricados en paquetes de hojas corrugadas de polipropileno PP o policloruro de vinilo PVC.

7. Ventilador axial:

Con una presión adecuada de reserva y de alta eficiencia. las aspas de FRP o aluminio y una maza de acero se controlan la vibraciones y así mismo las aspas pueden ser ajustadas al ángulo de diseño.

8. Cilindro del ventilador:

Para optimizar el rendimiento a través de la recuperación de presión, los cilindros son fabricados en FRP, concreto reforzado y prefabricado en segmentos.

9. Motor eléctrico:

Dependiendo la aplicación pueden ser de una o dos velocidades, tres polos y frecuencia de 60 Hz, carcasa tipo jaula de ardilla de baja y media tensión.

10. Reductor de velocidad

Dos o tres etapas, ángulo recto y engranaje helicoidal; previa solicitud, están disponibles con línea de lubricación la cual contiene una mirilla y llenado en el

exterior, así mismo se pueden suministrar con bomba de lubricación y diferentes tipos de accesorios opcionales.

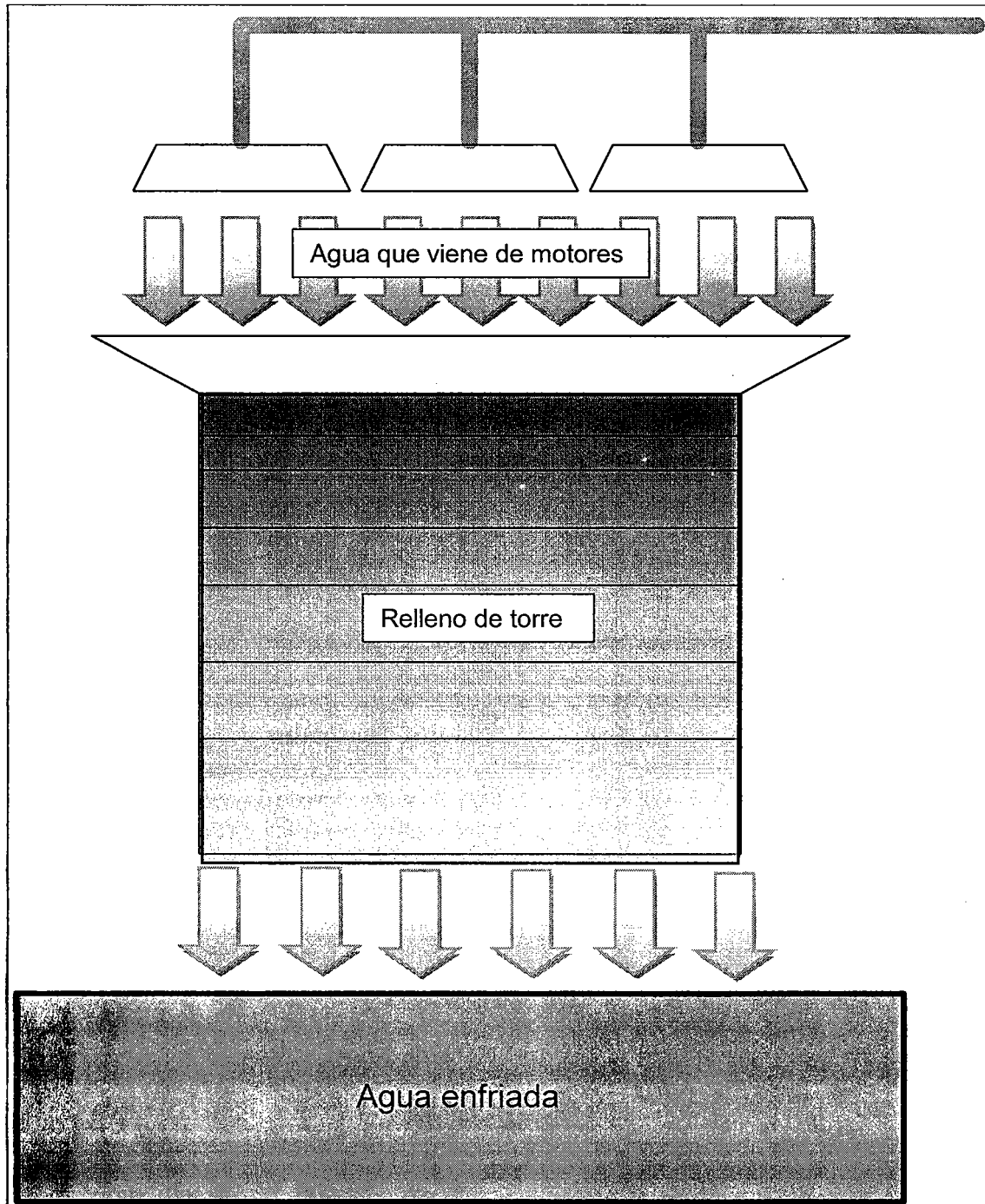
11. Fecha de transmisión

Fabricados con material de fibra de carbono de alta calidad y resistencia, con acoplamientos en fibra de carbono y acero, con guardas como protecciones.

3.1.2 Torre de enfriamiento diseñada en base a estudios de Ingeniería.

Basado en conocimientos de termodinámica, e investigaciones realizadas en distintas referencias bibliográficas y electrónicas se hace posible el diseñar para su implementación, una torre de enfriamiento de tiro natural que satisfaga las necesidades energéticas y de ahorro económico para la planta de generación. Es importante tener en cuenta de antemano que los factores de diseño como: la calidad del material, la calidad de la construcción y el montaje, así como los inconvenientes de tipo atmosférico-ambientales pueden influir de sobremanera en el funcionamiento óptimo de nuestra torre de refrigeración. Un factor muy importante que no podemos dejar de lado es el mantenimiento de dicho dispositivo, el cual va a ser más constante y engorroso que el de una torre de un fabricante especializado en el tema, por lo que las herramientas de decisión de preparación y evaluación de proyectos nos darán una decisión acertada en este dilema por resolver.

Figura 17. Torre de enfriamiento diseñada por el autor.



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Identificación de variables

Para un estudio adecuado de evaluación y preparación de proyectos es necesario realizar un estudio de pre-factibilidad con las variables que afecten directamente el costo y el funcionamiento de nuestra inversión.

3.2.1 Tipo

3.2.1.1 Torre de enfriamiento de concreto GEA

Las principales características de las torres de enfriamiento de concreto se debe a que tiene una vida útil de operación muy prolongada y una excelente absorción del ruido. Cuando se utiliza cemento de alta resistencia y recubrimientos adecuados, éstas pueden ser usadas con agua de enfriamiento muy agresiva.

Las siguientes variantes de construcción pueden ser posibles:

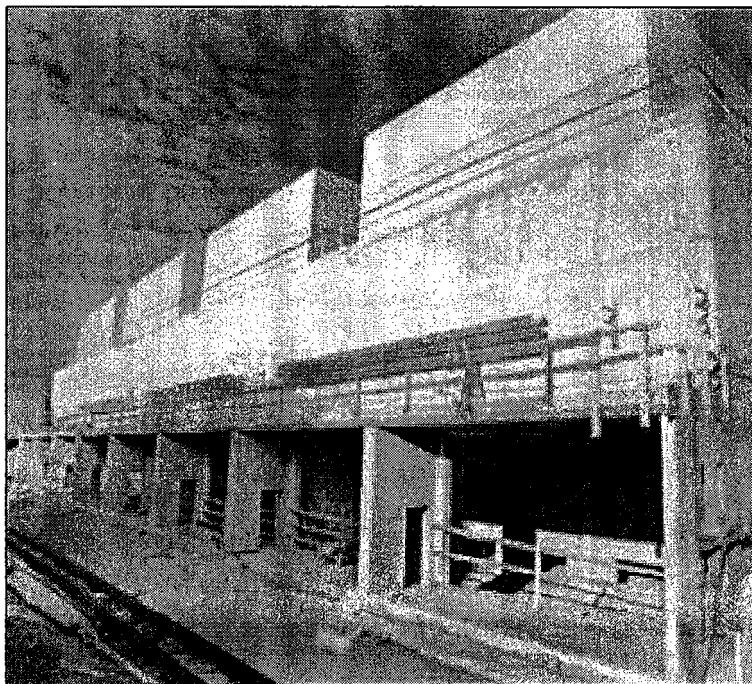
Construcción de concreto armado concreto prefabricado para minimizar los tiempos de construcción Concreto mixto para construcción Los soportes estructurales son diseñados de acuerdo a los respectivos requerimientos estáticos.

La construcción con concreto prefabricado, las columnas son fijadas e instaladas a la base de cimentación, los cuales conllevan las cargas y sirven de apoyo para las traveses horizontales. Las traveses horizontales externas sostienen la cubierta exterior. Dependiendo de las cargas de viento que se producen, la separación vertical entre las traveses puede variar. En el interior, las traveses forman la estructura de apoyo para los componentes internos de la torre de enfriamiento. las partes concreto armado o prefabricado son usados en el área

superior. Las paredes exteriores pueden ser de paneles corrugados de fibra de vidrio, hojas o láminas trapezoidales de aluminio o acero u otros tipos material dependiendo la aplicación y requerimientos.

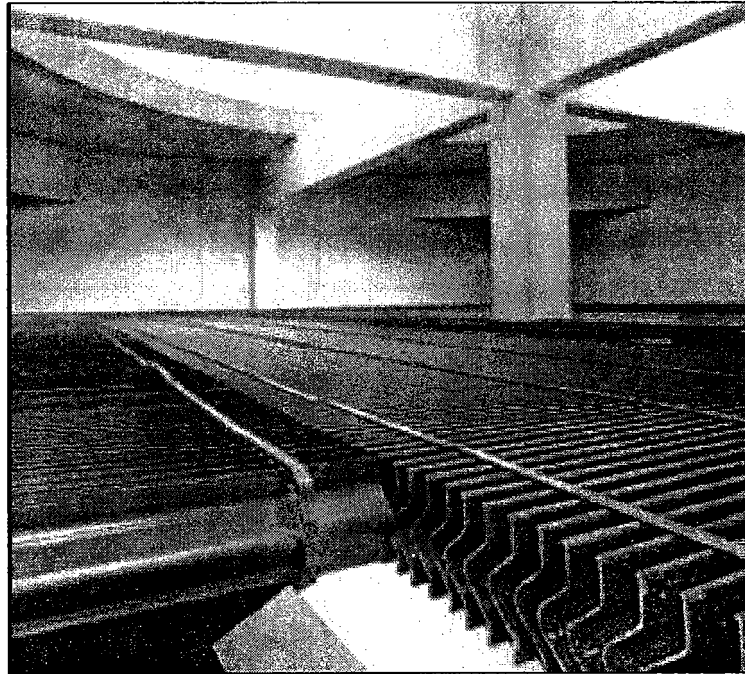
Las Plantas con torres de celdas múltiples requerirán de particiones. En estos casos, estas paredes se pueden fabricar de concreto armado o prefabricado libres de partes de asbestos, paneles de concreto con refuerzo de fibra de vidrio. Esto mismo aplica para los deflectores de viento en celdas con dos entradas de aire. Cada celda tiene un acceso en la parte superior en el piso del ventilador. Las escaleras tipo rampa, marina y pasillos facilitan el acceso al área del ventilador, reductor de velocidad y flecha de transmisión.

Figura 18. Torre de enfriamiento de concreto GEA



Fuente: GEA Corps.

Figura 19. Interior de torre de enfriamiento de concreto GEA



Fuente: GEA Corps.

3.2.1.2 Torre de enfriamiento de madera GEA.

Por décadas, gracias a su aplicación universal, las torres de enfriamiento de madera han demostrado su eficiencia en todas las ramas de la industria. En conjunto con los accesorios de materiales adecuados, por ejemplo el agua de mar (agua salina), éstas torres pueden ser usadas para estas aplicaciones sin ninguna restricción. Las dimensiones de las torres de enfriamiento de madera de GEA están basadas en determinada red de soportes. Un número de estas redes de soportes se utilizan para adaptar la torre de enfriamiento con una mayor flexibilidad en diferentes espacios requeridos. Los elementos de madera

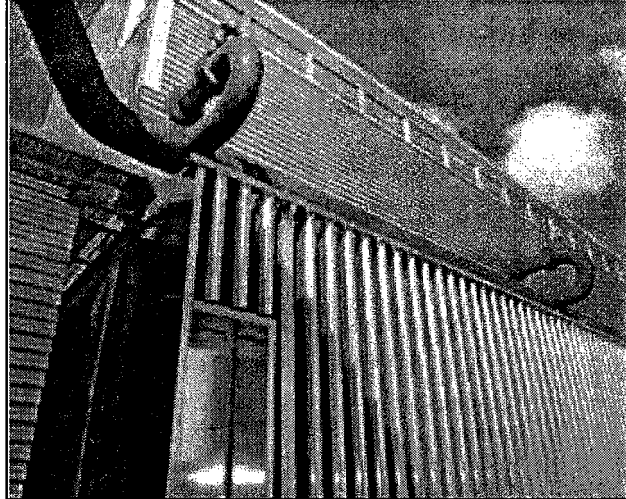
prefabricados reducen los tiempos de ensambles considerablemente en comparación con las torres de enfriamiento de concreto.

La estructura de madera, los soportes del relleno de enfriamiento, el piso del ventilador y cualquier elemento de refuerzo será requerido de acuerdo a los estándares de cada país, así como el área superior, que consta de madera la cual es machihembrada o triplay tipo marino con su respectivo tratamiento químico. Toda la madera debe cumplir con los últimos estándares y lineamientos para el uso en la construcción de torres de enfriamiento.

Después de la transformación de la madera para ser utilizada en las torres de enfriamiento, ésta madera es sometida a un tratamiento químico para su impregnación por medio de un proceso de presión y vacío de acuerdo a un método preservativo aprobado. Los elemento de conexión, tales como tornillos, tirabuzón, sujetadores, etc., así como los conectores de los diagonales necesarios para absorber las cargas de viento, los cuales se diseñan de acuerdo con la calidad del agua en el circuito.

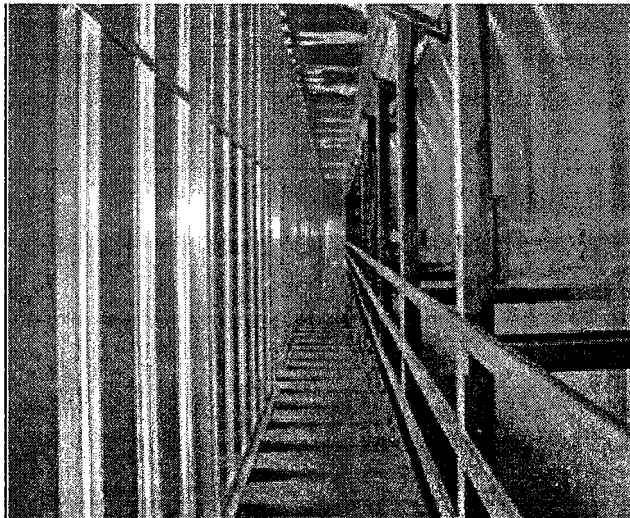
Las paredes de viento y las particiones en el interior son de madera machihembrada impregnada con tratamiento químico sometidas a un proceso de presión y vacío. la cubierta exterior son de paneles de resina poliéster reforzados con fibra de vidrio (FRP) ondulados o trapezoidales. La estructura de la cubierta exterior puede ser adaptada para satisfacer una aplicación relevante como es particularmente los requerimientos regulatorios para el control de ruidos.

Figura 20. Torre de enfriamiento de madera GEA



Fuente: GEA Corps.

Figura 21. Interior de torre de enfriamiento de madera GEA



Fuente: GEA Corps.

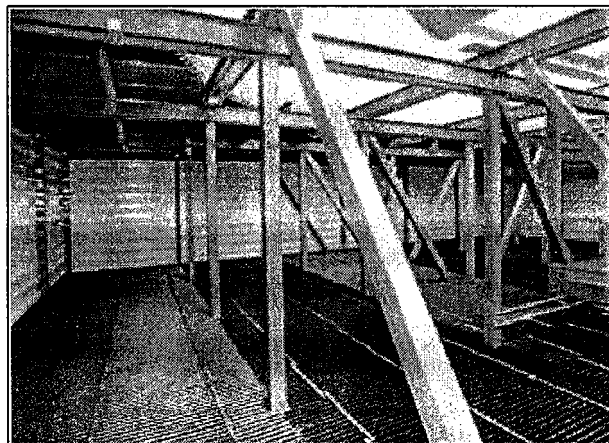
3.2.1.3 Torres de enfriamiento de FRP (fibra de vidrio) GEA.

Debido a sus propiedades técnicas y su alta resistencia a la corrosión y al desgaste, la resina poliéster reforzada con fibra de vidrio FRP, sustituye cada vez más a los elementos estructurales fabricados con materiales tradicionales.

Gracias a los perfiles de FRP que son objeto de dimensionamiento estático durante la fase de planeación, GEA ofrece una enorme flexibilidad en cuanto a las dimensiones de las celdas y la selección de la longitud de la torre de enfriamiento. GEA solamente utiliza perfiles de FRP que cumplan con las normas internacionales (DIN, EN, ASTM, CTI, etc.) y que hayan sido previamente certificadas por las distintas autoridades encargadas de efectuar pruebas en los materiales.

Todos los componentes utilizados son resistentes a los rayos ultravioletas UV y con retardante a la flama de acuerdo con los requerimientos específicos. Dependiendo de la composición del agua circulante, los elementos de conexión consisten en acero galvanizado con inmersión en caliente, acero inoxidable o plásticos adecuados. Es posible para satisfacción del cliente el uso de colores específicos.

Figura 22. Interior de torre de enfriamiento de FRP GEA.



Los siguientes componentes utilizados son fabricados en FRP:

- Estructura elaborada con perfiles de FRP
- Particiones y la cubierta exterior son de paneles de corrugados - onduladas y
- trapezoidales
- Cilindros para ventiladores y difusores
- Escalera de rampa, escalera tipo marina, barandales y plataformas de accesos
- Placas para el piso del ventilador con cubierta antiderrapante

3.2.1.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.

Según se ejemplificó en la Figura 17, basados en parámetros de estudios ambientales del sector, así como los requerimientos volumétricos de agua a enfriar y el gradiente de temperatura a reducir, se propone una torre de enfriamiento de tiro natural, hecha con materiales metálicos como soporte y distribución de agua, y ajustándose al área disponible se plantea una opción económica en costos de montaje y puesta en marcha, pero con desventajas de mantenimiento, puesto que por estar expuesta a un ambiente completamente abierto y utilizando el aire natural como medio eficaz de pérdida de temperatura puede acarrear complicaciones de corrosión temprana así como incrustación en su relleno de enfriamiento. Debemos de tener en cuenta que, mientras más tiempo pase la gota de agua en contacto con el aire, esta se ve notoriamente afectada en la pérdida de temperatura, y es un punto a favor con respecto a las otras tres propuestas puesto que las torres de enfriamiento GEA, son torres cerradas y funcionan a base de ventiladores de alta frecuencia que generan grandes gastos en consumo de energía.

3.2.2 Costo

Esta variable trascendental para los intereses del inversionista debe darse detallada y no solo tomar en cuenta el precio de venta de un dispositivo, sino una serie de variables más que afectan directamente el funcionamiento óptimo de la torre.

3.2.2.1 Torre de enfriamiento de concreto GEA.

Torre de refrigeración con capacidad de enfriamiento para 460 m³/h (260 m³ más de los que requerimos) capaz de reducir agua de 70°C hasta 35°C.

3.2.2.1.1 Costo del dispositivo.

US \$26,780.46; el precio incluye IVA.

3.2.2.1.2 Costo de instalación y montaje

US \$2,000; el precio incluye IVA. El montaje lo hace el distribuidor autorizado en el sector.

3.2.2.1.3 Costo anual de mantenimientos

US \$947.36; el precio incluye IVA. Este monto concierne únicamente a repuestos eléctricos y accesorios que se deben de cambiar por prevención debido a un año continuo de funcionamiento.

3.2.2.1.4 Costos de inducción

No existe ningún tipo de inducción, puesto que el control de funcionamiento y reducción de temperaturas se llevaría en el mismo monitor electrónico de los motores.

3.2.2.2 Torre de enfriamiento de madera GEA.

Torre de refrigeración con capacidad de enfriamiento para 536 m³/h (336 m³ más de los que requerimos) capaz de reducir agua de 65°C hasta 35°C.

3.2.2.2.1 Costo del dispositivo.

US \$33,746.18; el precio incluye IVA.

3.2.2.2.2 Costo de instalación y montaje

US \$2,000; el precio incluye IVA. El montaje lo hace el distribuidor autorizado en el sector.

3.2.2.2.3 Costo anual de mantenimientos

US \$947.36; el precio incluye IVA. Este monto concierne únicamente a repuestos eléctricos y accesorios que se deben de cambiar por prevención debido a un año continuo de funcionamiento.

3.2.2.2.4 Costos de inducción

No existe ningún tipo de inducción, puesto que el control de funcionamiento y reducción de temperaturas se llevaría en el mismo monitor electrónico de los motores.

3.2.2.3 Torre de enfriamiento de FRP GEA.

Torre de refrigeración con capacidad de enfriamiento para 296 m³/h (196 m³ más de los que requerimos) capaz de reducir agua de 65°C hasta 35°C. Este dispositivo ofrece un rango más bajo de caudal a refrigerarse con respecto

a las torres de concreto y madera respectivamente, además de ajustarse perfectamente al gradiente de temperaturas que debemos de reducir.

3.2.2.3.1 Costo del dispositivo.

US \$21,765.49; el precio incluye IVA.

3.2.2.3.2 Costo de instalación y montaje

US \$2,000; el precio incluye IVA. El montaje lo hace el distribuidor autorizado en el sector.

3.2.2.3.3 Costo anual de mantenimientos

US \$947.36; el precio incluye IVA. Este monto concierne únicamente a repuestos eléctricos y accesorios que se deben de cambiar por prevención debido a un año continuo de funcionamiento.

3.2.2.3.4 Costos de inducción

No existe ningún tipo de inducción, puesto que el control de funcionamiento y reducción de temperaturas se llevaría en el mismo monitor electrónico de los motores.

3.2.2.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.

Es un dispositivo de enfriamiento descrito en el apartado 3.2.1.4, construido e instalado por mecánicos y soldadores de la empresa basados en especificaciones del autor del presente trabajo de graduación. La capacidad volumétrica de enfriamiento de agua es de 200 m³/h, logrando reducir la temperatura desde los 65°C hasta los 30°C.

3.2.2.4.1 Costo del dispositivo.

En esta sección procederemos a desglosar todos los rubros concernientes a materiales empleados.

Tabla V. Resumen de costos de materiales para torre de enfriamiento

Item	Precio	% Desc.	Neto	% Canje	Entrega
1	Q. 1,250.00	6 %	Q. 1,175.00	5 %	1 Día
15 Tubos acero al carbón sin costura de 4" cedula 40. Norma: ASTM A106			Proveedor: Alaisa Total: Q. 17,625.00 OC: 86604		
2	Q. 4,488.00	0 %	Q. 4,488.00	2 %	1 Día
6 válvulas acero al carbón de bola flangeadas de 4" 150 lbs vapor			Proveedor: CORPORACIÓN VALTUGUA, S.A. Total: Q. 4,488.00		
3	Q. 1,850.00	0 %	Q. 1,850.00	5 %	1 Día
4 Válvulas de Compuerta Flangeada Acero al Carbón de 3" 150 Lbs vapor			Proveedor: ALAISA Total: Q. 7,400.00		
4	Q. 37.35	0 %	Q. 37.35	2 %	2 Días
6 Codos de acero al carbón de 3" x 90° soldables cédula 40.			Proveedor: Suplisa Total: Q. 224.10		
5	Q. 60.00	0 %	Q. 60.00	5 %	1 Día
12 Codos acero al carbón de 4 x 90° soldables cédula 40.			Proveedor: Alaisa Total: Q. 720.00		

6	Q. 107.75	0 %	Q. 107.75	5 %	1 Día
14 Flanges de 4" Acero al Carbón Cedula 40 Soldable.			Proveedor: Alaisa Total: Q. 1,508.50		
7	Q. 118.00	0 %	Q. 118.00	2 %	1 Día
320 metros cuadrados de madera de tapalquite para relleno de torre de enfriamiento.			Proveedor: ASERRADERO INDSA Total: Q. 37,760.00		

Fuente: Departamento de compras, Industrias Liztex.

Todos los materiales para la construcción de la torre de enfriamiento hacen un total de Q. 69,725.60.

3.2.2.4.2 Costo de instalación y montaje

El montaje y la construcción de la torre son dos procedimientos que se deben de hacer en simultáneo, por lo que se planificó con el jefe de mecánicos y soldadores que para el ensamble y la soldadura de todas las bases y rellenos se pueden abarcar dos turnos por día de 6 personas en un total de 11 días. El costo directo por mano de obra en un turno por persona asciende a Q. 120.00; por lo que el costo total de instalación sería de Q. 15,840.00

3.2.2.4.3 Costo anual de mantenimientos

El mantenimiento común de limpieza de rellenos se puede planificar una vez mensualmente en dos turnos con 4 personas para la limpieza. El costo de mantenimiento ascendería a Q. 960.00 mensuales, y en un año a Q. 11,520.00.

3.2.2.4.4 Costos de inducción

No es posible calcular un costo de inducción puesto que ésta se incluiría dentro del plan de capacitaciones que hay dentro de la generadora, dicho plan es expuesto en el apartado 5.1 del presente documento y concierne a capacitación de personal.

3.2.3 Espacio

Las dimensiones que ocuparía cada una de nuestras 4 opciones se describe a continuación, a efecto de planificar una ubicación óptima para la torre que se procederá a elegir.

3.2.3.1 Torre de enfriamiento de concreto GEA.

Las dimensiones de la torre de enfriamiento en cuanto a su área transversal son de 6 metros por 7 metros, con una altura de 6 metros.

3.2.3.2 Torre de enfriamiento de madera GEA.

Las dimensiones de la torre de enfriamiento en cuanto a su área transversal son de 7.4 metros por 10 metros, con una altura de 6 metros.

3.2.3.3 Torre de enfriamiento de FRP GEA.

Las dimensiones de la torre de enfriamiento en cuanto a su área transversal son de 6.5 metros por 10 metros, con una altura de 5.7 metros.

3.2.3.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.

Las dimensiones de la torre de enfriamiento en cuanto a su área transversal son de 8 metros por 8 metros, con una altura de 11.6 metros.

3.2.4 Construcción, instalación y montaje

En el presente apartado se trata en generalidades el procedimiento que implica la construcción, instalación y/o montaje de cada opción de torre de enfriamiento.

3.2.4.1 Torre de enfriamiento de concreto GEA.

Al ser una torre de un fabricante especializado en su construcción y diseño, no se puede tomar en cuenta el factor de construcción, en lo que concierne a montaje si, puesto que el distribuidor autorizado es quien tiene que prestar dicho servicio.

3.2.4.2 Torre de enfriamiento de madera GEA.

Al ser una torre de un fabricante especializado en su construcción y diseño, no se puede tomar en cuenta el factor de construcción, en lo que concierne a montaje si, puesto que el distribuidor autorizado es quien tiene que prestar dicho servicio.

3.2.4.3 Torre de enfriamiento de FRP GEA.

Al ser una torre de un fabricante especializado en su construcción y diseño, no se puede tomar en cuenta el factor de construcción, en lo que concierne a montaje si, puesto que el distribuidor autorizado es quien tiene que prestar dicho servicio

3.2.4.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.

La construcción e instalación se van a llevar a cabo con base en directrices de un estudio técnico-científico por parte del autor, los costos y la planificación

de dicho rubro ya fue expuesto en el apartado 3.2.2.4.2. Dicho estudio será especificado en el apartado 4.1 concerniente a la implementación.

3.2.5 Mantenimiento

El mantenimiento de un dispositivo de éstas magnitudes es un agente calificativo determinante para una decisión final, puesto que si este obliga a subir los costos de operación al estar parado el sistema por un mantenimiento planificado o en el peor de los casos correctivo, puede significar un alza en costos por no funcionamiento del dispositivo.

3.2.5.1 Torre de enfriamiento de concreto GEA.

Implica un mantenimiento a los componentes eléctricos y limpieza de rellenos de cualquier tipo de incrustación o corrosión por cada año continuo de funcionamiento.

3.2.5.2 Torre de enfriamiento de madera GEA.

Implica un mantenimiento a los componentes eléctricos y limpieza de rellenos de cualquier tipo de incrustación o corrosión por cada año continuo de funcionamiento.

3.2.5.3 Torre de enfriamiento de FRP GEA.

Implica un mantenimiento a los componentes eléctricos y limpieza de rellenos de cualquier tipo de incrustación o corrosión por cada año continuo de funcionamiento.

3.2.5.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.

Involucra un plan diseñado a corto y largo plazo en la limpieza de componentes y rellenos de la torre, su ventaja a favor es no contar con motores ni ventiladores eléctricos que requieran un costo alto en repuestos. Debido al tipo de agua tan agresiva que hay en el sector donde se ubica la planta de generación, es necesario proyectar un mantenimiento mensual, durante el tiempo de uso de la torre.

3.2.6 Inducción

Es de mucha importancia el contar con personal capacitado para el uso y control de un dispositivo de enfriamiento, con el objeto de dar avisos constantes de su funcionamiento a su superior inmediato. En el presente apartado es de vital importancia discernir entre los distintos niveles de inducción que serían necesarios si se llega a instalar determinado tipo de torre de enfriamiento.

3.2.6.1 Torre de enfriamiento de concreto GEA.

Por ser un dispositivo hecho por un fabricante con experiencia en el ramo, es innecesario un entrenamiento inicial, puesto que al contar con sensores electrónicos que pueden ser transmitidos en los monitores de control de motores, se facilita para la vigilancia constante del funcionamiento por parte del operario.

3.2.6.2 Torre de enfriamiento de madera GEA.

Al ser un dispositivo hecho por un fabricante con experiencia en el ramo, es innecesario un entrenamiento inicial, puesto que al contar con sensores

electrónicos que pueden ser transmitidos en los monitores de control de motores, se facilita para la vigilancia constante del funcionamiento por parte del operario.

3.2.6.3 Torre de enfriamiento de FRP GEA.

Por ser un dispositivo hecho por un fabricante con experiencia en el ramo, es innecesario un entrenamiento inicial, puesto que al contar con sensores electrónicos que pueden ser transmitidos en los monitores de control de motores, se facilita para la vigilancia constante del funcionamiento por parte del operario.

3.2.6.4 Torre de enfriamiento diseñada por el autor.

Por ser poco usual en las actividades cotidianas de una planta dedicada exclusivamente a las operaciones que implican el control para la generación de energía eléctrica. Desde el hecho de construir y montar una torre de enfriamiento en base a requerimientos de los intercambiadores de calor tipo placas, hasta los conceptos de las variables de construcción, así como implementar dentro del departamento de capacitaciones de la planta una inducción acorde a todos los aspectos que envuelven el entorno termodinámico de una torre de enfriamiento. La capacitación del personal se amplía más en la sección 5.1 del presente documento.

3.3 Diagnóstico

3.3.1 Antecedentes

El contexto geográfico de la planta de generación está incluido dentro de una zona franca industrial, la cual está rodeada de industrias de textiles automatizadas, plantas de hilatura, bodegas y fábricas de otras índoles. La

región es colindante con el municipio de Palín del departamento de Escuintla, su ruta de acceso es por medio de la carretera nacional CA-9, estando en medio del cañón de Palín y un área completamente volcánica con topografía plana.

El origen del problema se remonta a la necesidad de mantener temperaturas óptimas para el buen funcionamiento de motores de combustión interna para la generación de electricidad. Las dimensiones de los dispositivos, características especiales, y algunos de los equipos auxiliares requieren de un sistema de enfriamiento capaz de suministrar agua acorde a las exigencias técnicas sugeridas por los fabricantes de dichos equipos. Una optimización de costos de operación es necesaria para poder mantener un nivel de competencia adecuado y con base en estudios científicos del ramo de Ingeniería.

Para llegar a determinar la necesidad de ampliar determinado dispositivo es imperante hacer comparaciones eficaces en cuanto a costos y productividad, eficiencia, movimiento de personal, inducción inicial, capacitaciones constantes, planes de mejora continua, registro de datos, implantación de un sistema de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo; entre otras.

La temperatura es un parámetro que afecta directamente el funcionamiento de cualquier tipo de motor de combustión interna moderno. En un motor más de la tercera parte de energía que se le suministra a través de combustible se pierde en forma de calor, por lo que el sistema de enfriamiento es el que se encarga de que los diferentes componentes del motor se mantengan en temperaturas seguras para evitar que el motor sufra descomposturas parciales o totales por lo mismo.

El sistema de enfriamiento actual cuenta con un dispositivo de equipos necesario para su buen funcionamiento como es el caso de tubería de hierro y pvc de distintos diámetros, bombas de recirculación y suministro, grupos de radiadores, intercambiadores de calor, válvulas para regular el paso del flujo de agua, flautas para dispersar y atomizar el caudal en los techos, techos industriales de dos aguas y canales donde corre el agua de enfriamiento, estanque de captación de agua enfriada, una torre de enfriamiento Marley a contraflujo, y cuatro torres mecánicas de tiro natural.

La descripción anterior incluye a las dos alternativas que se pueden presentar en el sistema de enfriamiento, la económica que es todo el equipo de intercambiadores de calor, techos, válvulas, flautas y estanque de captación de agua; y la costosa que es la alternativa de utilizar un grupo de radiadores el cual mantienen en sus ventiladores una frecuencia de rotación alta y constante causando un costo energético alto de operación. Cuando por mantenimientos programados (preventivos) o inesperados (correctivos) es necesario parar el sistema de intercambiadores de calor, techos y torres mecánicas, se hace obligatorio utilizar el grupo de radiadores para cada motor.

3.3.2 Generalidades

El proyecto a mejorar inmiscuye el determinar si es necesario adquirir o diseñar un dispositivo de enfriamiento alterno y/o complementario para el sistema de enfriamiento actual de la planta de Generación Blureff I (ver figura 23) de Industrias Liztex. Tomando como parámetros las temperaturas actuales del sistema, y si éstos cumplen con los requerimientos del fabricante. Para lograr lo propuesto en el presente apartado es básico contar con los registros de temperatura, funcionamiento y mantenimiento que han sido facilitados por la empresa, además de hacer estudios de campo con instrumentos de medición

adecuados y una verificación constante en el sistema de registros instantáneos de un sistema asistido por computadoras y sensores.

Las propuestas de mejora o adquisición de un dispositivo alternativo de enfriamiento se realizarán en base a un estudio científico propio de un profesional del ramo de Ingeniería, y de la opción de adquirir un dispositivo realizado por un fabricante del sector de sistemas de enfriamientos industriales.

Los beneficiarios directos de contar con un sistema de enfriamiento completamente eficiente son los motores de generación de la Planta Blureff I de Industrias Liztex, específicamente los motores 3 y 4 que son los que mantienen un período de funcionamiento promedio de 18 a 20 horas al día.

3.3.3 Definición del problema

Siendo necesario el cumplir con los objetivos específicos del presente proyecto de ampliación o mejora, ya puramente en el plano del sistema de enfriamiento para la Planta Blureff I se ve afectado por la cantidad de recorrido que debe de realizar el agua para llegar a un grado óptimo para reingresar al circuito de enfriamiento interno de un motor, pudiendo este largo recorrido llenar de impurezas que generen incrustaciones y corrosión al equipo de sistemas auxiliares de cada motor. La necesidad de implementar un efectivo mantenimiento preventivo y control de purgas del agua estancada para que los minerales e impurezas lleguen a un alto nivel de concentración en el tanque de captación; la determinación de una dosis adecuada de un alguicida para evitar el crecimiento de algas tanto en el tanque como en las torres mecánicas de enfriamiento y los cuales provocan una estrangulación en los orificios de las bandejas y en los difusores para atomizar el agua en dichas torres.

3.3.4 Metas

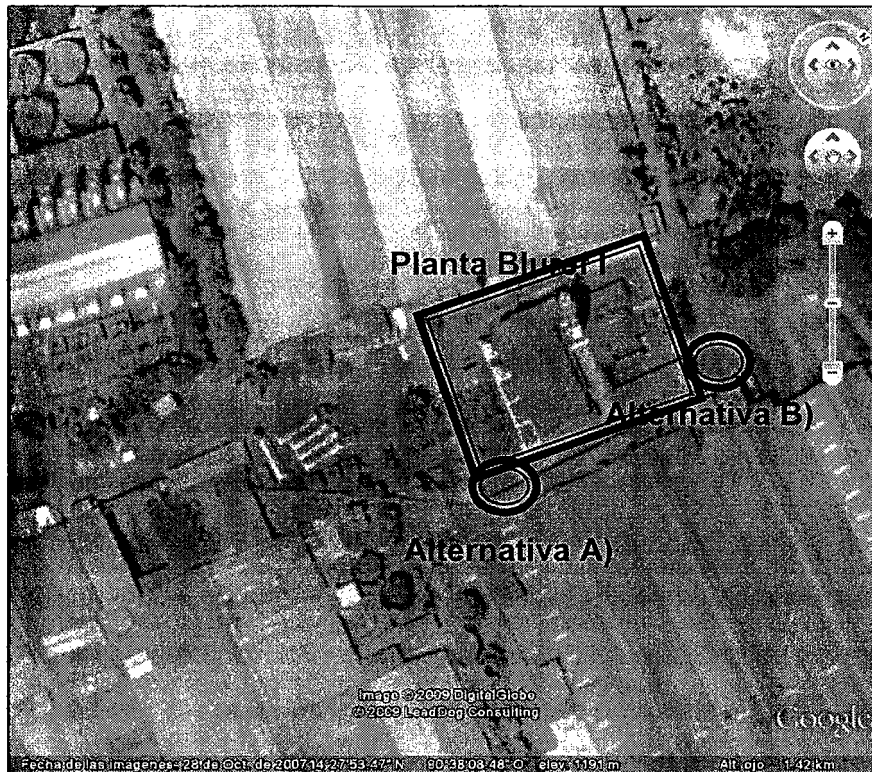
- Basándose sobre los resultados de análisis técnicos para tomar la decisión sobre si la opción de diseñar una torre de enfriamiento adecuada o adquirir una de un fabricante la cual cumpla con los requisitos establecidos.
- Utilizar la máxima cantidad de recursos teóricos adquiridos durante la carrera de pre-grado de Ingeniería Mecánica Industrial para encontrar una solución efectiva para dicho proyecto.
- Recurrir a la cantidad de herramientas y equipo necesario para la medición y comprobación de variables y parámetros para demostrar las deducciones obtenidas.
- Realizar planos y gráficos como apoyo infalible para lograr ejemplificar el estado actual y las mejoras propuestas, así como el detalle de los cambios y parámetros mejorados.

3.4 Formulación

3.4.1 Alternativas de localización de acuerdo a los factores identificados

En la presente sección se entrarán a analizar los distintos factores que afectan directamente en cuanto a la elección final de cualquier candidatura con respecto a un lugar idóneo para el montaje del dispositivo de enfriamiento.

Figura 23. Alternativas para ubicación de torre de enfriamiento



Fuente: Mapa Satelital Google Earth

3.4.1.1 Disponibilidad de terreno

3.4.1.1.1 Alternativa “A”

Existe plenitud en cuanto a la disponibilidad de terreno en este sector.

3.4.1.1.2 Alternativa “B”

Se halla en un punto completamente aprovechable para cualquier propósito.

3.4.1.2 Topografía del suelo

3.4.1.2.1 Alternativa “A”

Es completamente plano, puesto que está hecho a base de una cimentación de concreto que cubre un estanque subterráneo con capacidad

para almacenar 50,000 galones de agua enfriada proveniente de varios dispositivos de enfriamiento.

3.4.1.2.2 Alternativa “B”

Es completamente plano, puesto que está hecho al igual que la alternativa “A” a base de una cimentación de concreto, con la única diferencia que es un terreno que no está siendo utilizado para nada y puede ser aprovechado.

3.4.1.3 Disponibilidad de recursos

3.4.1.3.1 Alternativa “A”

Es una de las principales ventajas de elegir esta propuesta, ya que al estar encima del estanque subterráneo se garantiza existencia constante de agua.

3.4.1.3.2 Alternativa “B”

No existe agua ni de ninguna fuente como para mantener un abastecimiento constante, y la inversión para hacer un estanque adecuado para el dispositivo sería alta.

3.4.1.4 Posibilidad de comunicación

3.4.1.4.1 Alternativa “A”

La comunicación en cualquier tipo es constante en esta posible ubicación, puesto que por otros procesos productivos de carácter industrial se ejerce un tránsito invariable de personas y recursos a través de sus colindancias.

3.4.1.4.2 Alternativa “B”

Este no es un factor que diferencie las dos alternativas, puesto que al igual que la primera, ésta en sus colindancias es sujeta de un tránsito constante de recursos y personal.

3.4.1.5 Posibilidad de evacuar desechos

No aplica para ninguna de las dos opciones puesto que el funcionamiento de una torre de enfriamiento no produce desecho alguno, al contrario de ello tiene beneficios ambientales que se describirán en el apartado 3.6 del presente documento.

3.4.1.6 Disponibilidad de recurso humano

Al igual que en el aspecto anterior, éste no es un factor determinante para elección de cualquiera de las dos opciones que se comparan, puesto que la disponibilidad de recurso humano para mantenimiento y control en cualquier parte de la planta es abundante en cualquier jornada que se evalúe.

3.4.1.7 Carencias con fuentes de abastecimiento

3.4.1.7.1 Alternativa “A”

No carece de abastecimiento de agua, ya que la existe una gran cantidad de ramales de tuberías que pueden ser interconectadas al dispositivo de enfriamiento que se está implementando.

3.4.1.7.2 Alternativa “B”

No es un factor que ayude a esta opción puesto que al estar en un sector de la planta en donde no hay algún ramal cercano de agua proveniente de motores implicaría una inversión de recursos y tiempo en interconectarla con la más cercana, a efecto de que empiece a funcionar la torre de enfriamiento. Luego de ello se hace necesario hacer una conexión para el agua enfriada que salga de dicha torre para el estanque de agua fría.

3.4.1.8 Localización óptima

Luego de hacer un análisis comparativo de las variables cualitativas que afectan directamente las dos opciones nos podemos dar cuenta que la alternativa “A” es la que más se ajusta a nuestras necesidades, tanto por economía, como por la posibilidad de coexistir con varios ramales de agua y estar demasiado próxima al estanque de agua enfriada que es a donde iría a parar el agua procesada de la torre de enfriamiento.

3.5 Análisis financiero

Para poder efectuar un análisis financiero adecuado, es necesario recapitular en un cuadro los costos determinados en el apartado 3.2.2 del presente documento, para tal efecto se recomienda ver la siguiente tabla:

Tabla VI. Resumen de costos totales de cada opción de torre de enfriamiento.

RUBRO	ALTERNATIVA DE TORRE DE ENFRIAMIENTO			
	GEA DE CONCRETO	GEA DE MADERA	GEA DE FIBRA DE VIDRIO	DISEÑADA POR EL AUTOR
COSTO	\$26.780,46	\$33.746,18	\$21.746,49	Q69.725,60
INSTALACIÓN Y MONTAJE	\$2.000,00	\$2.000,00	\$2.000,00	Q15.840,00
MANTENIMIENTO ANUAL	\$947,36	\$947,36	\$947,36	Q11.520,00
INDUCCIÓN	0	0	0	0
	\$29.727,82	\$36.693,54	\$24.693,85	Q97.085,60
TOTAL EN QUETZALES	Q240.795,34	Q297.217,67	Q200.020,19	Q124.445,60

Gracias a esta tabla comparativa se puede percatar que según la descripción detallada de costos que implicaría el optar por cada una de las alternativas descritas la más conveniente en cuanto a economía es la propuesta por el autor del presente documento.

3.5.1 Costos por uso de radiadores

La torre de enfriamiento diseñada por el autor viene a ser una alternativa eficaz para la no utilización de grupos de radiadores, puesto que el uso de los mismos implican costos altísimos de operación en cuanto a pérdidas de energía eléctrica para el enfriamiento de los motores 3 y 4 de la planta Bluref I. Por lo que una manera eficaz de comparar si existe un ahorro real en un período

común de ambas opciones es obtener los costos de operación de los grupos de radiadores que funcionan para cada motor.

El motor 3 de la planta funciona con 17 radiadores en total, consumiendo una potencia neta de 126 kW. El motor 4 de la planta funciona con 56 radiadores en su totalidad, consumiendo una potencia neta de 123 kW. La cantidad de horas que un motor pasa convocadas al día son alrededor de 20 horas por jornada, y asumiendo un año comercial de 360 días, obtendríamos un consumo de energía de 1,792,800 kWh en un año. El costo precio de venta de un kilovatio hora es de un quetzal con quince centavos, por lo que el costo total del funcionamiento asciende a la escandalosa cantidad de **Q. 2,061,720.00** aproximadamente. Se estima un costo de mantenimiento anual de **Q. 348,738.59** por conceptos de repuestos eléctricos y mano de obra directa para tal rubro, por lo que el simple hecho de mantener el sistema de radiadores implica un costo total de **Q. 2,410,458.59**.

3.5.2 Valor Presente Neto (VPN)

Es la herramienta financiera de Ingeniería económica que más se acopla a nuestro análisis puesto que luego de la gran inversión inicial, se tienen que seguir erogando gastos de mantenimiento de manera constante durante el tiempo en años que dure el funcionamiento de los dispositivos. Utilizando un interés bancario del 15% de manera compuesta se procederá a evaluar la opción de seguir operando con radiadores o implementar un diseño de torre de enfriamiento acorde a las especificaciones a efecto de sustituir el gasto que puede generar el uso de radiadores. Apoyado con las herramientas financieras que ofrece Microsoft Excel para hacer un análisis de tal magnitud procederé a considerar que opción es más conveniente para el inversionista.

3.5.2.1 Torre de enfriamiento

Tabla VII. Resumen de costos de operación de una torre de enfriamiento

COSTOS		Mantenimiento				
Inv. Inicial	1er. Año	2do. Año	3er. Año	4to. Año	5to. Año	
-Q112.925,60	-Q11.520,00	-Q11.520,00	-Q11.520,00	-Q11.520,00	-Q11.520,00	

Figura 24. Resolución de VPN en Microsoft Excel

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the following data and formulas:

	A	B	C	D	E	F
1	COSTOS	Mantenimiento				
2	Inv. Inicial	1er. Año	2do. Año	3er. Año	4to. Año	5to. Año
3	-Q112.925,60	-Q11.520,00	-Q11.520,00	-Q11.520,00	-Q11.520,00	-Q11.520,00
4						
5						
6						
7		INTERES			análisis VPN	
8		15% anual compuesto			VNA(15%;B3:F3) +A3	
9						
10					Resultado	
11					-Q170.525,60	
12						
13						
14						
15						

The formula bar shows: $=VNA(A8;B3:F3)+A3$

En letras rojas se puede apreciar el “Valor Presente Neto” total de la torre de enfriamiento propuesta.

3.5.2.2 Radiadores

Tabla VIII. Resumen de costos de operación del grupo de radiadores.

COSTOS	Mantenimiento
Inv. Inicial	1er. Año
-Q2.061.720,00	-Q348.738,59

Figura 25. Resolución de VPN en Microsoft Excel

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with the following data in the spreadsheet:

	A	B	C	D	E	F
1	COSTOS	Mantenimiento				
2	Inv. Inicial	1er. Año				
3	-Q2.061.720,00	-Q348.738,59				
4						
5						
6						
7		INTERES			análisis VPN	
8		15% anual compuesto			VNA(15%;B3) +A3	
9						
10					Resultado	
11					-Q2 410.458,59	
12						

The formula bar shows the formula for cell E11: $=VNA(A8;B3)+A3$.

En letras rojas se puede apreciar el “Valor Presente Neto” total del grupo de radiadores que funcionan.

La respuesta es mucho más que obvia al percatarnos que los costos por operación e inversión al utilizar una torre de enfriamiento se reducen en **Q.2,239,932.99**; por lo que las herramientas financieras nos indican que lo más pertinente es inclinarnos por la construcción e instalación de la torre de enfriamiento.

3.6 Consecuencias para el medio ambiente

3.6.1 Una alternativa eficaz y segura para el ahorro de energía.

El principio de refrigeración evaporativa, aplicado entre otros en las Torres de Enfriamiento y condensadores evaporativos, desempeña un papel fundamental en la industria moderna. Entre sus ventajas se cuentan el ahorro energético, el respeto hacia el medioambiente, la seguridad y una inmejorable relación entre la inversión y el rendimiento.

Las Torres de Enfriamiento y condensadores evaporativos son una de las alternativas más eficientes en el campo de la refrigeración industrial. Estos dispositivos utilizan una tecnología respetuosa con el medio ambiente, requieren una inversión inferior a la demandada por soluciones similares y, sobre todo, son totalmente seguros en lo que a la salud humana se refiere.

3.6.2 Consecuencias económicas y medioambientales

Las instalaciones frigoríficas de NH_3 y la aplicación de CO_2 a baja temperatura asociado al NH_3 en sistemas de cascada y la sustitución de la

condensación por agua por la condensación por aire supone incrementar el gasto energético del 20 al 80 por ciento o más para producir el mismo frío en comparación al uso de Torres de Enfriamiento; puesto que la temperatura de condensación aumenta en un intervalo que oscila entre 6 y 18 K. A nivel macroeconómico, estas cifras inciden en el desequilibrio de la balanza comercial exterior producido por la dependencia en Chile de combustibles foráneos y un grave impacto medioambiental causado por las emisiones de CO₂ que, como se indicaba anteriormente, los acuerdos internacionales obligan a reducir.

El hecho de condensar a temperatura más alta implica:

- Presiones de condensación más elevadas, lo cual acarrea un mayor riesgo de fugas del refrigerante de la instalación y el consiguiente impacto ambiental, o efecto invernadero directo.
- Incremento del costo de producción en la industria, con la consiguiente disminución de la competitividad de las empresas frente a otros proveedores sujetos a legislaciones menos restrictivas.
- Al aumentar la temperatura de condensación, disminuye la producción frigorífica de una instalación. Esto quiere decir que, para producir el mismo efecto frigorífico, se necesita:
 1. Un compresor mayor, más caro; o
 2. Un motor eléctrico de accionamiento mayor, más caro, o
 3. Un condensador mayor, más caro; o
 4. Un condensador con más ventiladores, más ruido, más coste de insonorización; o
 5. Mayor consumo de agua en origen: para producir 1 kWh se consumen como media 100 litros de agua; o

6. Mayor consumo energético; o
7. Mayor impacto ambiental por necesitarse más instalaciones generadoras de electricidad, las cuales emiten más CO₂ a la atmósfera. Mayores costes por emisiones de CO₂; o
8. Mayores pérdidas de energía en transportar esa mayor energía eléctrica demandada desde la central generadora hasta el punto donde se encuentra el equipo receptor; o

A modo de ejemplo sobre el ahorro energético que suponen los equipos de refrigeración evaporativa, cabe decir que sustituir las torres y condensadores evaporativos de las instalaciones de refrigeración y aire acondicionado existentes en cualquier país de Europa por aero-refrigeradores y condensadores enfriados por aire supondría incrementar la potencia eléctrica generada necesaria en aproximadamente 2.839 MW, lo cual equivale a construir, para asumir tal incremento, 3 centrales nucleares de tipo medio o 7 centrales térmicas de ciclo combinado.

3.6.3 Ventajas de las torres de enfriamiento

La primera de ellas es el ahorro energético, en la medida que, en las instalaciones de climatización y refrigeración, la eficiencia energética y el consumo de energía eléctrica están directamente relacionados con la temperatura de condensación del refrigerante utilizado.

En una instalación de aire acondicionado típica, la comparación de los consumos energéticos arroja cifras ilustrativas: los equipos de condensación incluidas torres de refrigeración y condensadores evaporativo ofrecerían frente a los de condensación por aire un ahorro en el consumo de hasta el 45%.

Otro ejemplo en la misma línea sería el que se produce en las instalaciones frigoríficas, donde las potencias absorbidas por las torres y condensadores evaporativos frente a las de aire son sensiblemente inferiores.

3.6.4 Principio de funcionamiento del enfriamiento evaporativo

Para comprender estas ventajas, cabe hacer una aproximación al principio del enfriamiento evaporativo. Se trata de un proceso natural que utiliza el agua como refrigerante y que se aplica para la transmisión a la atmósfera del calor excedente de diferentes procesos y máquinas térmicas. En este principio se basa el funcionamiento de equipos como las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos, frecuentemente utilizados para la condensación del gas refrigerante en las instalaciones frigoríficas.

En estas instalaciones los equipos de enfriamiento evaporativo liberan el calor de condensación de las máquinas frigoríficas transfiriéndolo a la atmósfera mediante la evaporación de una reducida cantidad de agua. Este proceso se hace efectivo gracias al establecimiento de un estrecho contacto entre el agua en circulación y una corriente de aire en un intercambiador de calor.

Los equipos de enfriamiento evaporativo, con independencia de cuales sean sus modalidades y características específicas, incorporan una sección de intercambio de calor humedecido (paneles de rellenos) con la utilización de un dispositivo rociador de agua, un sistema de ventilación encargado de forzar el paso del aire ambiente a través del relleno y diferentes componentes auxiliares, tal como la piscina colectora de agua, bomba de recirculación, eliminadores de gotas e instrumentos de control.

En el mercado existe una gran variedad de equipos de enfriamiento evaporativo que permiten a cualquier usuario elegir la combinación de rendimiento, utilización de energía y vida útil que mejor se ajuste a sus necesidades. Se trata de una amplia gama de productos de diferentes

dimensiones, que utilizan diversos materiales de construcción, con variadas disposiciones y tipos de ventiladores conforme a necesidades específicas y que incorporan los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento.

El consejo de la industria de la refrigeración es que la elección de la mejor tecnología debe basarse en un minucioso análisis y evaluación de los factores medioambientales, además de en criterios comerciales y técnicos. El valor añadido de un sistema que se resume en las palabras: natural, sencillo, limpio, seguro y económico abarca, además del tema ya tratado de la salud pública, dos grandes áreas: la medioambiental y la económica.

3.6.5 Respecto al medioambiente

El enfriamiento evaporativo utilizado en las instalaciones frigoríficas y de aire acondicionado con condensación por agua, es una tecnología respetuosa con el entorno, que produce un impacto medioambiental reducido en varios aspectos.

Reducción del efecto invernadero: Esta técnica se ha manifestado como la tecnología más eficaz para luchar contra el efecto invernadero, al limitar las emisiones de CO₂ indirectas gracias al ahorro importante de energía eléctrica consumida, y directas debidas al menor riesgo de fugas de gases refrigerantes al trabajar las instalaciones con presiones relativamente reducidas. Esta reducción del consumo energético y de las fugas de gas se consigue por los motivos siguientes:

- **Eficiencia del proceso:** cuanto mayor es la eficiencia del proceso industrial, menor es la cantidad de energía que se pierde y más fácil es deshacerse del calor residual. Muchos procesos son sensibles a la

temperatura y necesitan refrigeración, por lo tanto, para asegurar el máximo rendimiento es importante contar con una tecnología de refrigeración altamente eficaz.

- **Seguridad:** la refrigeración evaporativa es un sistema de enfriamiento apropiado para ser incorporado a los sistemas indirectos. La posibilidad de conseguir temperaturas de enfriamiento de agua en nuestra zona climática de hasta +25°C o inferiores, permite el empleo de intercambiadores de calor intermedios, lo que significa que el fluido procesado puede enfriarse en circuito cerrado hasta 30°C o menos. En comparación, con los equipos de enfriamiento de agua enfriados por aire, que dependen de la temperatura ambiente de bulbo seco, las temperaturas mínimas que pueden lograrse son muy superiores y pueden llegar hasta los 50°C. En muchos casos, estas temperaturas son tan elevadas que el proceso es inviable o con un rendimiento bajo, necesitando mayor cantidad de energía para la evacuación de calor.

En comparación con las necesidades del proceso industrial, la energía utilizada para la evacuación de calor o la refrigeración del equipo es baja. Tanto por su aplicación como por su diseño los equipos de enfriamiento evaporativo ahorran energía. En primer lugar, las temperaturas más bajas de enfriamiento de agua aseguran un funcionamiento óptimo del proceso y reducen el consumo de energía; en segundo lugar, el equipo es altamente eficaz energéticamente debido al uso de transferencia de calor latente de evaporación. Esta transferencia permite la eliminación de una cantidad superior de calor a la lograda con el uso de una transferencia tradicional de calor sensible, es decir, requiere un caudal de aire hasta cuatro veces menor que el que necesita un proceso de enfriamiento por aire.

La cantidad de agua evaporada en el proceso de refrigeración y, como consecuencia, la transferencia de calor, está condicionada por la temperatura del bulbo húmedo del aire ambiente que, precisamente en verano, cuando las necesidades de refrigeración se incrementan, es sensiblemente inferior a la temperatura del bulbo seco. De esta forma, los equipos de refrigeración evaporativa consiguen temperaturas de agua inferiores a las logradas con equipos enfriados por aire, cuyo rendimiento sí que se ve limitado de acuerdo con la temperatura del bulbo seco del ambiente.

Con esta tecnología la condensación de las instalaciones frigoríficas y de las de aire acondicionado cabe realizarla a una temperatura adecuada para que la presión en el sector de alta del circuito frigorífico sea muy inferior y que, por consiguiente, disminuye el riesgo de fugas de refrigerante y el consiguiente impacto potencial directo. Por otra parte, al disminuir la temperatura de condensación, el consumo de la energía eléctrica necesaria para hacer funcionar una máquina frigorífica, con idénticas prestaciones que la condensada por aire, puede reducirse, como se ha señalado anteriormente, del 20 al 80 por ciento, e incluso más.

Además, como se necesita aproximadamente una cuarta parte de aire, en comparación con un equipo de enfriamiento por aire, el consumo de energía de motores de ventiladores es muy inferior. Resulta evidente que al producirse un menor consumo de energía también es menor el efecto invernadero indirecto producido por la central térmica encargada de generar dicha energía. En consecuencia, con estos equipos se consigue un coste menor por derechos de emisión de CO₂. Téngase en cuenta que 1 kWh de energía eléctrica consumida procedente de centrales térmicas puede suponer, si se utiliza carbón, cerca de 1Kg de CO₂ emitido a la atmósfera; En el caso de una central de ciclo combinado producir 1 kWh serían 0,4 Kg de CO₂ emitidos a la atmósfera.

Por último, se producen menos pérdidas energéticas en el transporte de esa menor energía necesaria desde la central generadora hasta el punto de consumo.

- **Impacto acústico:** Aparte de la reducción del efecto invernadero, entre otros factores medioambientales a tener en cuenta, está la contaminación acústica. Ésta es reducida en el caso de los equipos de refrigeración evaporativa, debido a que requieren un menor caudal de aire que los equipos refrigerados directamente por aire.
- **Reducción del consumo de agua:** En cuanto a las pérdidas de agua, en el lugar de aplicación, el enfriamiento evaporativo reutiliza más del 95% del agua que moviliza en su funcionamiento. Una pequeña cantidad se evapora y otra se evacua para evitar la concentración de sales. Indirectamente, es decir, en origen, consume menos agua que la condensación por aire, puesto que una central generadora de electricidad consume aproximadamente 100 litros de agua por cada kWh generado. Bajo ciertas condiciones climáticas, cuando el aire de salida de la torre se descarga húmedo y templado en el aire ambiente más frío se genera un penacho visible. Éste es sólo vapor de agua puro condensado y en suspensión, similar a las nubes y totalmente inofensivo.

La refrigeración evaporativa no sólo se presenta como una tecnología respetuosa con el medioambiente sino que, además, ha sido capaz de adaptarse a las nuevas exigencias del entorno. Estos equipos han ampliado su vida útil gracias a la utilización de materiales resistentes a la corrosión, se han desarrollado intercambiadores de calor más eficaces, los niveles sonoros se han reducido mediante el uso de ventiladores más silenciosos y eventualmente amortiguadores de ruidos y por último, se han creado modelos matemáticos sofisticados de modo que el rendimiento térmico de los equipos puede

predecirse bajo una amplia variedad de condiciones de funcionamiento.

3.6.6 Impactos ambientales estimados

En el caso de que las torres de refrigeración y condensadores evaporativos, utilizados actualmente en los circuitos de condensación de las instalaciones de refrigeración y aire acondicionado existentes en cualquier parte del mundo, fueron sustituidos por aero-refrigeradores y condensadores enfriados por aire.

3.6.7 Implicaciones económicas

Las instalaciones frigoríficas que condensan con esta tecnología requieren una inversión menor (compresor y motor de accionamiento eléctrico y condensador más pequeño y por lo tanto más barato) en comparación con la condensación por aire para dar las mismas prestaciones a niveles similares de calidad. También se reducen los costos por reducción de ruidos.

El espacio que ocupan los condensadores por aire y aero-refrigeradores y su peso son muy superiores, lo que complica su ubicación y su capacidad, conceptos que se traducen igualmente en mayores costes de inversión. Los equipos de enfriamiento evaporativo se utilizan para casi todas las aplicaciones industriales que requieren refrigeración, en la medida que facilitan y optimizan muchas de las operaciones llevadas a cabo en la industria, incrementan el ahorro de energía y proporcionan importantes ahorros frente a otras alternativas, todo ello con una actuación respetuosa con el medioambiente.

4. IMPLEMENTACIÓN

Luego de concluir enfáticamente de la insuficiencia del dispositivo de enfriamiento actual para abastecer a todos los módulos de producción, se procederá a dar una explicación ilustrativa que permita entender al lector del presente documento, los métodos utilizados para el cálculo final para el diseño de una nueva torre de enfriamiento; sin olvidar también al departamento responsable de la implementación así como la persona responsable de la implementación, materiales y herramientas a utilizar. Además de lo anterior se delimitará el montaje de dicho módulo de enfriamiento así como su instalación definitiva para su pronto funcionamiento dentro de la generadora.

4.1 Presentación de la implementación

Después de analizar las propuestas gracias a las herramientas de análisis financiero y de preparación y evaluación de proyectos, podemos concluir enfáticamente que los precios son demasiado elevados para una torre de enfriamiento vendida por un fabricante, y que el caudal que se maneja para enfriar está dentro del rango mínimo para adquirir uno de estos equipos. Por lo que se procederá a explicar detalladamente los cálculos de una torre de enfriamiento mecánica de tiro natural. Para lo anterior, es necesario analizar todos los factores ambientales desde la composición misma del aire a razón de obtener un factor de compresibilidad necesario para calcular el caudal de aire mínimo que requiere nuestro sistema.

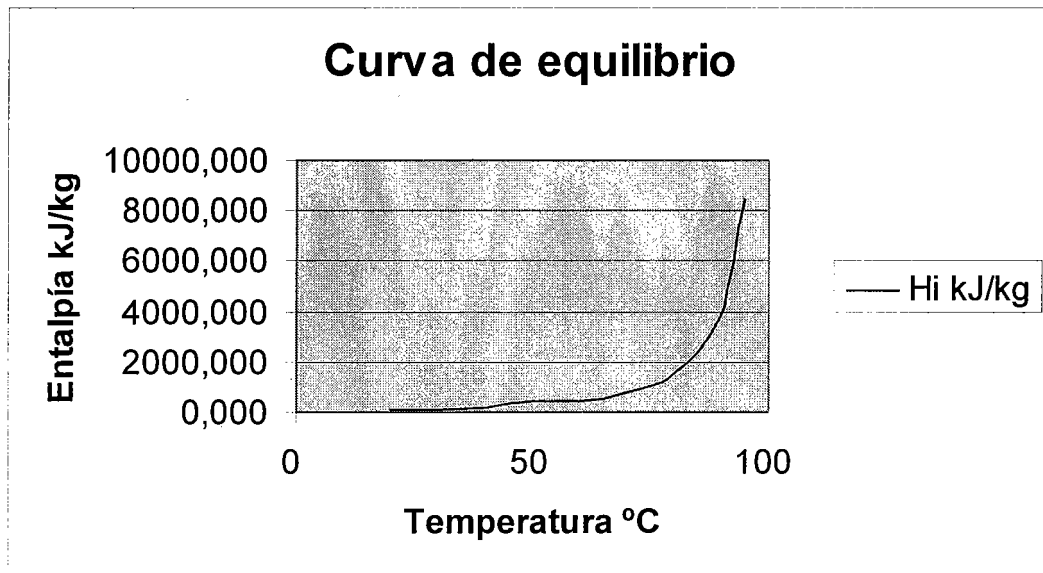
Tabla VII. Cálculo de temperaturas y presiones para el aire

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
componente	M	fracción molar	T_c ° K	T_c ° K	P_c kPa	T_c ° K	T_c ° K	M	prom C_p/C_v	prom C_p/C_v	prom C_p/C_v
N ₂	28,01	79,00	126,10	99,62	3399,00	2685,21	22,13	1,40	110,60	0,02	1,40
H ₂	2,016	0,00	33,20	0,00	1297,00	0,00	0,00	1,40	0,00	0,01	0,00
Ar	39,94	0,00	151,00	0,00	4863,60	0,00	0,00	1,67	0,00	0,00	0,00
SO ₂	64,00	0,00	190,55	0,00	4604,00	0,00	0,00	1,31	0,00	0,01	0,00
C ₂ H ₆	30,07	0,00	305,43	0,00	4880,00	0,00	0,00	1,19	0,00	0,01	0,00
C ₃ H ₈	44,10	0,00	369,82	0,00	4249,00	0,00	0,00	1,33	0,00	0,01	0,00
C ₄ H ₁₀	58,00	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00		0,00
C ₅ H ₁₂	72,00	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00		0,00
CO	28,00	0,00	405,60	0,00	11280,00	0,00	0,00	1,29	0,00	0,01	0,00
O ₂	32,00	20,00	154,70	30,94	5081,00	1016,20	6,40	1,40	28,00	0,02	0,30
CO ₂	44,01	0,00	304,20	0,00	7382,00	0,00	0,00	1,28	0,00	0,01	0,00
H ₂ O	18,02	1,00	647,30	6,47	22129,35	221,29	0,18		0,00		0,00
TOTAL		100,00		137,03		3922,70	28,71		1,39		0,02

Tabla VIII. Entalpía del agua en función de la temperatura

Temp °C	Hi kJ/kg
20	400,016
30	600,030
40	800,054
50	1000,159
60	1200,168
70	1400,306
80	1600,604
90	1801,545
95	1903,461

Figura 26. Gráfico de equilibrio con base en la tabla VIII.



Luego de basarnos en la composición química del aire, y ver el funcionamiento de la entalpía con respecto a la temperatura, fue necesario hacer los cálculos técnico-científicos que van a permitir averiguar las dimensiones de altura de la torre con respecto a un factor de relleno de la misma, además de basarnos en las características ambientales del sector, como lo son propiamente las temperaturas de bulbo seco y húmedo, la humedad relativa, el punto de rocío, el historial de temperaturas más altas durante la época de verano, la velocidad del viento, las temperaturas más bajas durante la noche, etc.

Dichos cálculos se presentan en cuadros de texto que denotan un cambio de color en variables críticas para efectuar el diseño de la torre de refrigeración, y al final de dichos cálculos se presenta en otro cuadro de texto comparativo si nuestras condiciones ambientales son acordes a nuestras requisiciones de operación de agua caliente para enfriar.

L (caudal de agua) 1,986E+05 kg/h

Dimensiones.		CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
altura Z(m)	11,6	G aire	269.031,44 m ³ /h
ancho(m)	8	L agua	200 m ³ /h
largo(m)	8	L agua	880,57 gpm
Empaque		L agua	198600 kg/h
Altura Ze(m) =	2,62		

Porosidad

Superf especial

Femp (factor de diseño)

Kya(kg/sm³) 2,777

Dens. Del aire (kg/m³) 993

Ubicamos el punto 1

punto 1 es **46%** *humedad relativa del aire %*

40 *Temperatura del Bulbo seco. °C*

Se obtiene **22** *Temperatura del Bulbo húmedo. °C*

Hg₁ 96,00 kJ/kg a Tbh

Hg₂ máx 242 kJ/kg a 48 °C y 100% de Hr

Línea de Operación

(L*Cl/Gsmin)máx= (Hg₂-Hg₁)/(Tl₂-Tl₁)

(L*Cl/Gsmin)máx= 4,17

Gs min 199484,18 kg/h

VELOCIDADES MÁSICAS	
L	634,238 lb/hft ²
G	955,593 lb/hft ²

Gs operac= 1,5*Gsmin= 299226,2671 kg/h

L*Cl/Gsop pendiente de la línea de operación

L*Cl/Gsop 2,78

Calculamos el valor de entalpía en el punto 2

Hg₂ 193,33 kJ/kg

DISEÑO Z=Htog*Ntog

Htog: altura de una sección de empaque

Ntog: # de secciones de altura de empaque

Htog=Gs/kya

Gs=Gs op/Área **Area (m²)** 64

Gs(kg/hm²) 4675,41

Htog(m) 0,468

Calculamos la altura de un plato o sección teórico, Tenemos que determinar

El número de secciones necesarias para el enfriamiento adecuado.

Ese valor se logra calculando el Ntog.

Para determinar Ntog es necesario aplicar un método matemático.

Usamos el método de los Trapecios para el cálculo de la integral.

$N_{tog} = \int dH_g / (H_i - H_g)$

$\int = \Delta h * (\xi R)$

de intervalos 5

$\Delta h =$

19,47 Hg	54,16 Hi	Hi- Hg	1/(Hi -Hg) R	
96,000	98,201	2,201	0,454	0,22713
115,467	152,361	36,894	0,027	0,02710
134,933	206,521	71,588	0,014	0,01397
154,400	260,681	106,281	0,009	0,00941
173,867	314,840	140,974	0,007	0,00709
193,333	369,000	175,667	0,006	0,00285

ΣR 0,28755

Ntog

5,6

Altura de empaque necesaria Z

Z 2,62 m

ESTIMADO DE LA ALTURA DE LA TORRE TOTAL

Z (Zona inf) 8,00 m

Z (Zona sup) 1,00 m

Z (Total) 11,62 m

mas veloc	valor	unidad	rango permitido
L agua	0,86	kg/s*m ²	0,7-3,5
G aire	1,30	kg/s*m ²	1,6-2,8

Debe de estar en el rango mostrado.

Flujo de aire G 299.226,27 kg/h

4.1.1 Definición

El análisis de enfriamiento de agua mediante el uso de torres requiere la aplicación de los conceptos de la psicrometría. Éstos están relacionados con las propiedades termodinámicas de las mezclas de vapor de agua con el aire.

Es conocido que la proporción de vapor de agua en el aire es baja (Porcentaje de vapor de agua en el aire es inferior al 5%); sin embargo, la presencia de esa cantidad de agua afecta de manera apreciable el comportamiento de las características físicas del aire.

4.1.1.1 Aire y psicrometría

Nitrógeno y oxígeno, sin embargo existen otros gases como el vapor de agua y otros. En este sentido el aire seco consiste en la mezcla de gases con ausencia de agua, el aire saturado corresponde a la mezcla con la cantidad máxima de agua que es posible estar en la fase de vapor. Cuando el aire se encuentra saturado con agua, no es capaz de recibir más agua en forma de vapor y por lo tanto, cualquier intento en ello provocaría la condensación del vapor, generándose la lluvia. De allí la importancia de conocer los principales parámetros que rigen el comportamiento de esta mezcla, entre ellos:

4.1.1.1.1 Temperatura de bulbo seco

Es la temperatura medida con un termómetro cuyo bulbo o sensor se encuentra en contacto directo con el sistema, se expresa en °C o °F.

4.1.1.1.2 Temperatura de bulbo húmedo

Es la temperatura medida con un termómetro cuyo bulbo o sensor se encuentra cubierto de un material humedecido con agua. El paso del aire en contacto con el termómetro cuyo bulbo está húmedo, provoca la evaporación del agua hasta que se logra la saturación del aire.

La temperatura que registra dicho termómetro es inferior a la observada en un termómetro de bulbo seco, debido a que la evaporación del agua en el bulbo húmedo requiere calor que se toma del termómetro logrando su enfriamiento.

4.1.1.1.3 Temperatura de rocío

Es la temperatura del aire en condiciones de saturación. Se evalúa determinando la temperatura de saturación a la presión de vapor en la mezcla. Cuando ocurre la saturación la temperatura de bulbo húmedo, seco y punto de rocío tienen el mismo valor.

4.1.1.1.4 Presión parcial

Según la ley de Dalton, en una mezcla de gases se denomina presión parcial de un componente a la presión que éste ejercería si ocupara todo el volumen que ocupa la mezcla. En el aire atmosférico se tiene que $P_{\text{Total}} = P_{\text{vapor}} + P_{\text{aire seco}}$. Normalmente la fracción de presión del vapor de agua no supera el 5% de la presión total, sin embargo esa pequeña fracción es determinante en las condiciones del aire.

4.1.1.1.5 Humedad absoluta

Es la relación entre la cantidad másica de vapor de agua y la cantidad másica de aire seco contenida en una muestra. Se define como:

$$\omega = \frac{m_v}{m_{as}}$$

tiene unidades de kg de agua / kg de aire seco.

4.1.1.1.6 Humedad relativa

Es la relación que existe entre la presión del vapor en la mezcla y la presión de saturación del vapor de agua a la temperatura de bulbo seco en que se encuentra la mezcla. Puede definirse también como la relación entre la masa de vapor de agua de la muestra y la máxima cantidad de vapor de agua posible a las condiciones dadas. Se expresa como:

$$\phi = \frac{P_v}{P_g}$$

tiene unidad de fracción o porcentaje y varía entre el 0 y el 100%.

4.1.1.1.7 Entalpía

Es el contenido energético de cierta sustancia. Para el caso del aire atmosférico es la suma de la energía asociada al aire seco y la energía asociada al vapor de agua, se expresa por unidad de kg de aire seco y viene dado por:

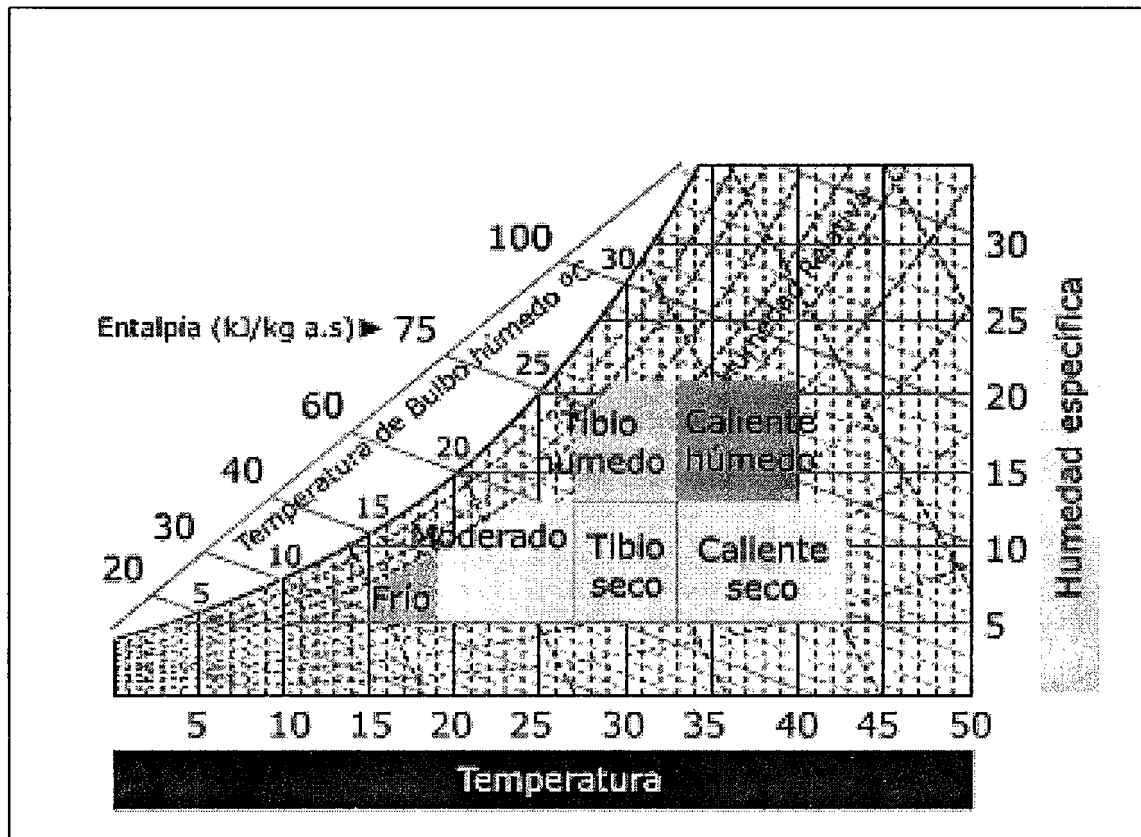
$$h = h_{as} + \omega \cdot h_v$$

donde h_{as} es la entalpía del aire seco que se calcula como $h_{as} = C_{p_{aire}} T$, w es la humedad específica y h_v es la entalpía del vapor de agua que puede leerse en una tabla termodinámica como la entalpía de vapor saturado a la temperatura dada.

4.1.1.2 Carta psicrométrica

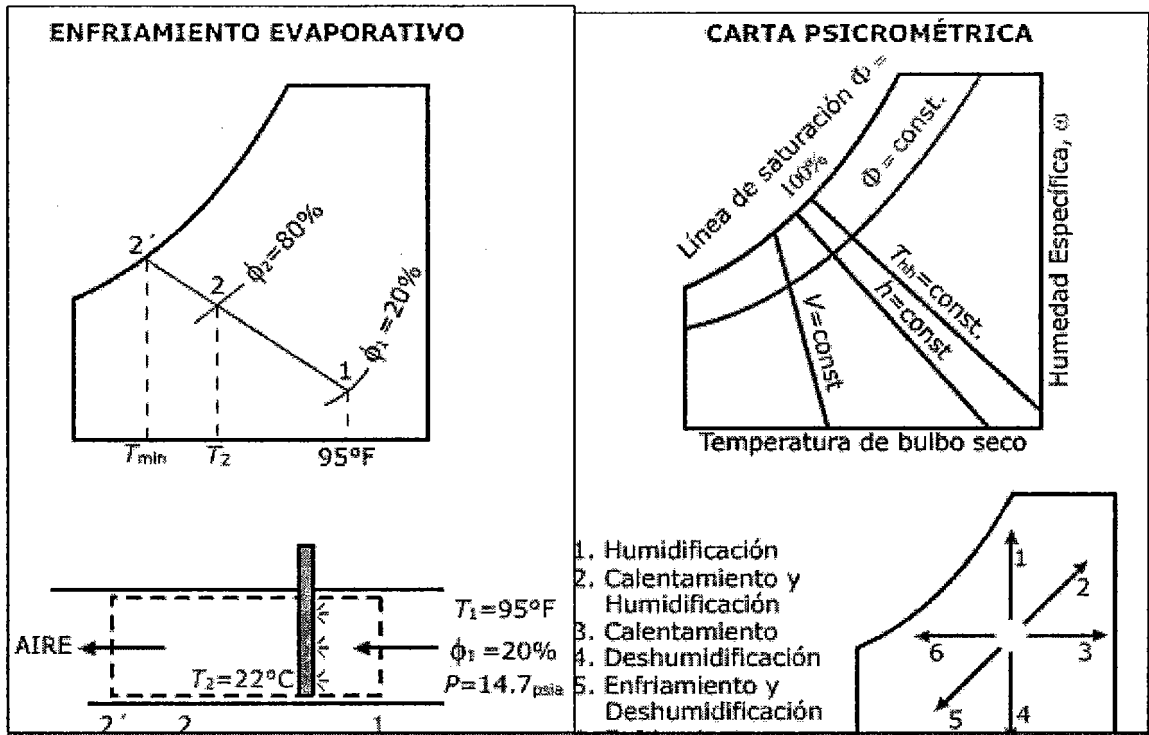
La carta psicrométrica, es una representación gráfica de las propiedades termodinámicas de una mezcla aire-vapor de agua. En ellas se puede dibujar un proceso ubicando los diferentes estados. Una línea horizontal a humedad absoluta constante representa un proceso de calentamiento o enfriamiento; una línea diagonal paralelas a las líneas de entalpía constante o a las de temperatura de bulbo húmedo constante, representa un proceso de evaporación entre otros.

Figura 27. Carta psicrométrica



Fuente:

Figura 28. Explicación del comportamiento de variables en la carta psicrométrica



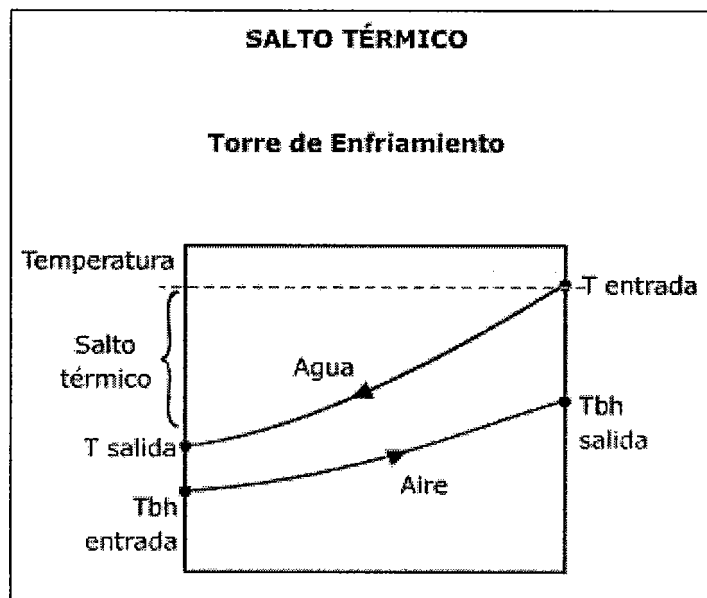
4.1.1.3 Acercamiento

El acercamiento, aproximación es la diferencia de temperatura entre el agua que sale de la torre y la temperatura de bulbo húmedo del aire que entra. Mientras menor sea el acercamiento mayor será el tamaño de la torre. Un acercamiento típico está por el orden de los 7°C, llegando hasta 3 ó 4°C.

4.1.1.4 Salto térmico

Es la diferencia de temperatura entre el agua fría que sale de la torre y el agua caliente que entra. El salto térmico determina la carga térmica de la torre y es un parámetro de selección importante. Una torre eficiente y bien seleccionada brinda, en condiciones atmosféricas favorables, un salto térmico cercano a los 10°C. Cuando las condiciones ambientales no son buenas, es decir, la temperatura de bulbo húmedo es alta y/o la humedad relativa está por encima del 75%, no pueden esperarse buenos saltos debido a que la evaporación de agua se ve reducida.

Figura 29. Ejemplificación del salto térmico.



4.1.2 Metas a alcanzar

- Dentro de las metas a alcanzar debemos de delimitar el propósito de diseñar un dispositivo adecuado para lograr el gradiente de temperatura necesario para que el agua fría retorne a los intercambiadores de calor para ser precalentada.
- Luego de conocer en brevedad los conceptos relacionados con las variables que afectan directamente el procedimiento de refrigeración de agua procederemos a ponerlos en práctica desde un enfoque mecánico-científico aplicado a la situación actual.
- Realizar mediciones de campo con instrumentos capaces de proporcionar datos certeros de la situación actual, para poder predecir un escenario diseñado acorde a los requerimientos técnicos del equipo de motores y dispositivos auxiliares para la generación dentro de la planta Bluref 2 en Industrias Liztex.

4.1.3 Resultados esperados

1. Un informe detallado con conceptos teóricos concernientes al tema de Torres de enfriamiento y su aplicación dentro del presente proyecto.
2. Un diseño final de un dispositivo de refrigeración para lograr una reducción de temperatura de al menos 30° C para un caudal de 200 m³/h de agua caliente.
3. Determinar la localización óptima del dispositivo de refrigeración de agua basándose en aspectos de conveniencia concernientes a costos de construcción y montaje.
4. Proporcionar un plan cimentado en aspectos técnico-teóricos para un adecuado mantenimiento del dispositivo.

5. Presentar una alternativa para la automatización del control total de todos los parámetros del circuito del dispositivo de refrigeración.

4.2 Personal designado

Dentro del organigrama expuesto en el apartado de datos generales de la empresa se hizo mención del departamento de Proyectos, el cual está encargado de realizar los estudios pertinentes para impulsar, desarrollar e implementar proyectos para la modernización o mejora de equipo y procedimientos, así como el seguimiento respectivo a los que ya han sido implementados dentro de la planta.

Al ver el perfil del departamento podemos constatar que es el adecuado para dar el seguimiento que merece el dispositivo de enfriamiento de agua que el autor propone con base a estudios técnicos-teóricos y de campo efectuados dentro de la planta y sus alrededores.

Aunado al departamento de proyectos es necesario contar con personal capacitado con fundamentos teóricos mínimos para mantener un control constante del dispositivo propuesto; dentro del control podemos mencionar la toma de temperaturas dentro del circuito, inspección visual de las bandejas y relleno de las torres de enfriamiento, monitorear las presiones de las bombas, reportar anomalías tales como acumulación de suciedad, algas, o incrustaciones en cualquier parte del sistema.

4.2.1 Encargados de implementación

Como se mencionó anteriormente, el departamento de Proyectos sería el más idóneo para la logística que pudiese llevar la implementación de la planificación, fruto de los cálculos y el diseño de la Torre de enfriamiento que ha sido la propuesta más conveniente para el proceso de retorno de agua fría para los intercambiadores de calor tipo Placas.

4.2.2 Materiales a utilizar en el mantenimiento del sistema de enfriamiento

Dentro del mantenimiento preventivo comprendería el análisis rutinario del agua de circulación del circuito; dichos análisis se efectúan dentro de un laboratorio instalado en la planta de generación. Las pruebas de laboratorio constituyen una de las herramientas más importantes para evaluar si el agua tiene las propiedades requeridas para ser tomada en cuenta como fuente de refrigeración para el funcionamiento del sistema de enfriamiento de los motores. Estas pruebas se realizan con un solo objetivo y es tratar de alargar de esta manera la vida útil de los motores y equipos auxiliares reduciendo fallas en el sistema empleando agua de alta calidad.

4.2.2.1 Análisis de pH

El pH no tiene unidades; se expresa simplemente por un número. El pH es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica. El pH es un indicador de la acidez de una sustancia, está

determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H⁺) en una sustancia. La acidez es una de las propiedades más importantes en el agua y que mas daño provoca en los sistemas de refrigeración; por lo que el pH requerido para el sistema de refrigeración de los motores Mak es de 9.

- Descripción detallada del método de pH “Análisis de pH”:

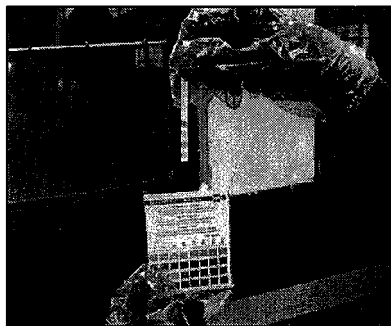
a. Equipo:

- Estuche con tiras plásticas indicadoras de pH
- Frascos con muestras de agua
- Equipo de protección personal

b. Procedimiento para realizar análisis:

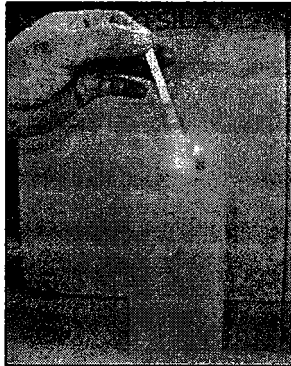
- b.1** Tomar una tira plástica medidora de pH del estuche (ver figura 30).

Figura 30. Forma correcta de tomar medidor de pH



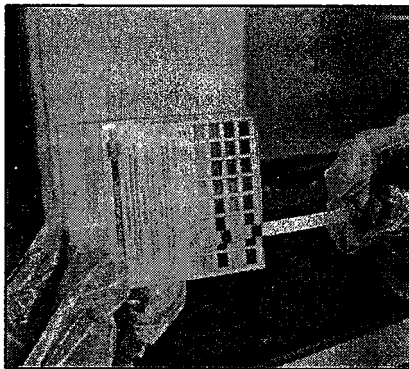
- b.2** Insertar la tira en cada uno de los frascos con sus respectivas muestras, dejarla inserta en el frasco tratando de que el agua toque la escala de medida de la tira por un tiempo de 30 segundos a 1 minuto (ver figura 31).

Figura 31. Forma correcta de insertar medidor de pH



- b.3** Sacar la tira y comparar con la escala de medidas que se encuentra en el estuche para así poder ver el valor exacto de pH de la muestra que se está analizando (ver figura 31).

Figura 32. Obtención de resultado de pH del agua



4.2.2.2 Análisis de dureza

La dureza es una característica química del agua que esta determinada por el contenido de carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos y ocasionalmente nitratos de calcio y magnesio.

La dureza es indeseable en algunos procesos, tales como el industrial (sistema de refrigeración de motores), la dureza es caracterizada comúnmente por el contenido de calcio y magnesio y expresada como carbonato de calcio equivalente. Las medidas de dureza del agua son: mg/L de carbonato cálcico CaCO_3 o bien su equivalente en ppm (partes por millón); en el caso del agua que se emplea como medio refrigerante en los motores, se requiere el agua con una dureza máxima de 1 ppm. La dureza se puede determinar fácilmente mediante reactivos y equipo especial y la forma de obtenerla se describe a continuación:

- Descripción detallada del método de dureza total “Análisis de dureza total”:

a. Equipo:

- Bureta automática de 25 ml
- Frasco con muestra
- Probeta graduada de 50 ml
- Cucharita de bronce
- Matraz Erlenmeyer
- Equipo de protección personal

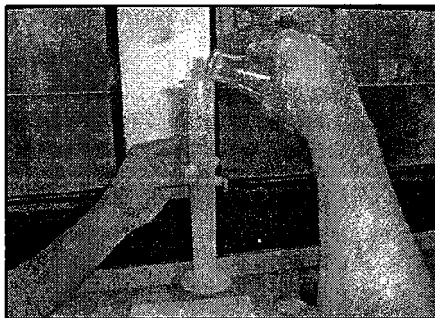
b. Reactivos:

- Buffer universal para dureza L-1566
- Indicador de dureza L-290
- Titulador de dureza L-232

c. Procedimiento para realizar análisis:

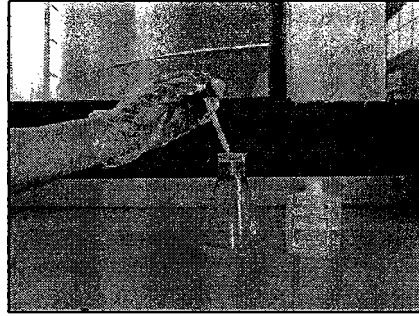
- c.1** Medir 50 ml de muestra en la probeta y transferir al matraz Erlenmeyer (ver figura 32).

Figura 33. Utilización correcta de probeta



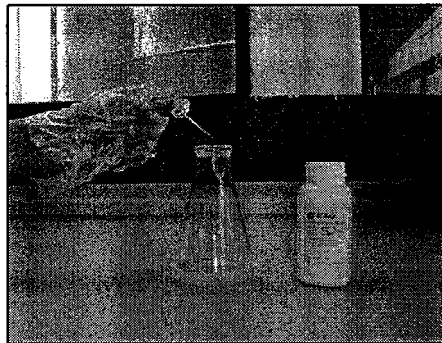
- c.2** Añadir 6 gotas de buffer para dureza y agitar matraz (ver figura 33).

Figura 34. Vertido correcto de buffer para dureza



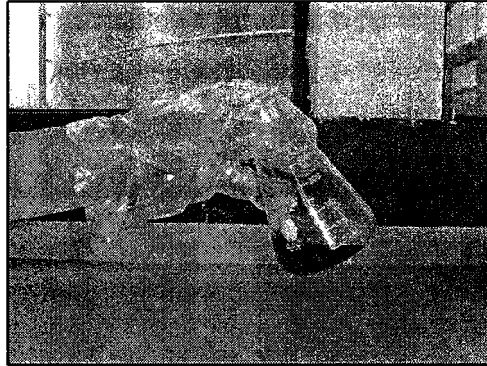
- c.3** Agregar con la cucharita de bronce una medida de indicador de dureza al matraz y agite nuevamente (ver figura 34).

Figura 35. Vertido correcto de indicador de dureza



- c.4** Si hay dureza, la muestra se tornará de color roja. Si presenta color azul no hay dureza por lo que se deja de hacer el análisis (ver figura 35).

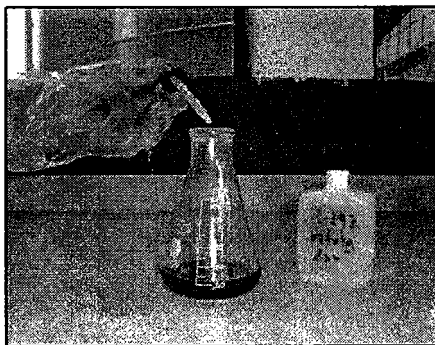
Figura 36. Agitación correcta para disolver químico



Observación: Muestra color roja, por lo tanto continuar haciendo análisis.

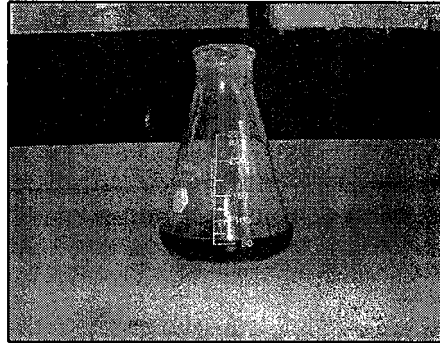
- c.5 Añadir lentamente solución tituladora por medio del gotero agitando constantemente el matraz; cuando se aproxime a su final la muestra se tornará completamente azul (ver figura 36).

Figura 37. Vertido correcto de solución tituladora



Resultado de la muestra (ver figura 37):

Figura 38. Color correcto de la muestra a analizar



c.6 Anotar la cantidad de mililitros gastados por el gotero.

c.7 Resultado y cálculo (en el cálculo tomar en cuenta que cada gota gastada en la bureta equivale a 0.05 ml), para obtener la dureza del agua utilizar la siguiente relación.

$$\text{Dureza (ppm)} = \text{mililitros gastados} * 20$$

4.2.2.3 Análisis de conductividad

La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución para conducir la corriente eléctrica. El agua pura, prácticamente no conduce la corriente, sin embargo el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad conducida dependerá del número de iones presentes y de su movilidad.

En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad, este efecto continúa hasta que la solución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar. Todos los valores que se obtenga de la conductividad deben estar referidos a una temperatura de referencia de 25 ° C. La conductividad se mide en micro-siemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

- Descripción detallada del método de la conductividad “Análisis de conductividad”:

a. Equipo:

- Conductímetro
- Frascos con muestras
- Equipo de protección personal

b. Procedimiento para realizar análisis:

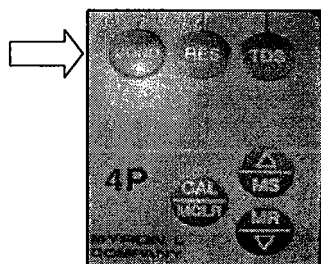
- b.1** Verter agua en poca cantidad en el orificio que se encuentra en el conductímetro (ver figura 38).

Figura 39. Forma correcta de vertido de agua en conductivímetro



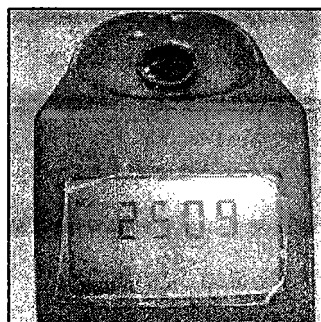
b.2 Presionar tecla con nombre COND en el aparato (ver figura 39).

Figura 40. Ubicación de la tecla para activar programa de conductividad



b.3 Notar que en la pantalla del conductivímetro aparece un valor, el cual oscila; tome el valor promedio entre los valores máximos y mínimos que aparecen y esa será su conductividad (ver figura 40).

Figura 41. Obtención del resultado de conductividad



4.2.2.4 Análisis de hierro

El agua es el solvente universal, por lo que el agua tiene generalmente algunas características minerales propias. Debido a que el hierro es uno de los minerales más abundantes, este es muy frecuente encontrarlo en las aguas y máximo en agua empleada como medio de refrigeración para motores. Cuando hay demasiado hierro en el agua se puede observar un color rojizo.

El análisis de hierro en el agua de motores es importante debido a que su presencia representa el grado desprendimiento de material que puede presentar el sistema de refrigeración en cualquiera de sus espacios por los que circula el agua; el máximo de hierro permitido en el agua de motores es 1 ppm (partes por millón) y su análisis se realiza de la siguiente forma:

➤ Descripción detallada del método ferover “Análisis de hierro”:

a. Equipo:

- Espectrofotómetro DR 2010
- Frascos para muestras de 25 ml
- Frascos con muestras
- Equipo de protección personal

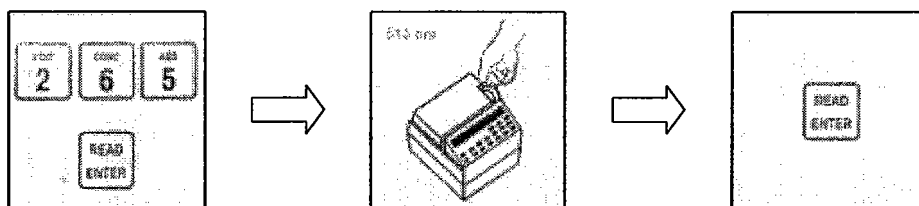
b. Reactivos:

- Reactivo férrico ferover

c. Procedimiento para realizar análisis:

c.1 Teniendo el espectrofotómetro encendido, ingresar el programa No. 265 rotar la perilla a 510 nm y luego presionar Read/Enter (ver figura 41).

Figura 42. Secuencia de realización paso 1



c.2 Agregar 25 ml de muestra en uno de los dos frascos y luego otros 25 ml de muestra para analizar en el otro frasco de igual volumen (ver figuras 42 y 43).

Figura 43. Vertido correcto de 25 ml de muestra frasco 1

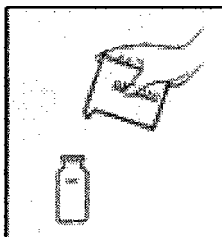
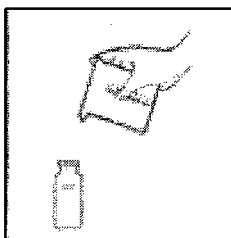
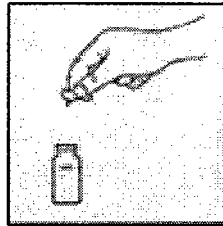


Figura 44. Vertido correcto de 25 ml de muestra frasco 2



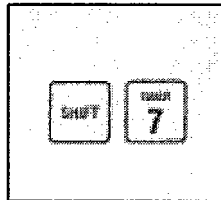
c.3 Agregarle al frasco de muestra para analizar un sobre de ferover (ver figura 44).

Figura 45. Vertido de sobre de ferover en muestra a analizar



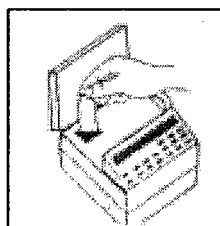
c.4 Presionar shift timer (3 min.) en el espectrofotómetro y agitar muestra con químico durante este tiempo para que el químico se disuelva (ver figura 45).

Figura 46. Selección de tiempo para mezcla de químico



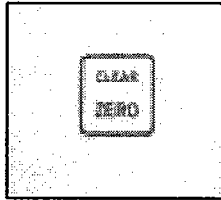
c.5 Luego colocar el frasco con la primera muestra en el agujero del equipo y cerrar la tapa (ver figura 46).

Figura 47. Colocación correcta de muestra 1 en espectrofotómetro



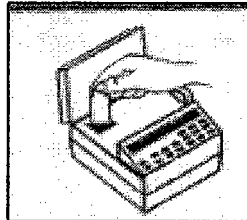
c.6 Presionar zero, entonces aparecerá en pantalla 0.0 mg/l FeFv o su equivalente en partes por millón (ppm); (ver figura 47).

Figura 48. Modo de ingreso para activar programa de análisis



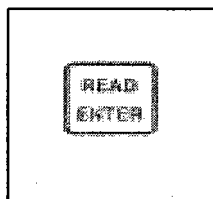
c.7 Sacar la muestra anterior, colocar la muestra preparada en el agujero del equipo y cerrar la tapa (ver figura 48).

Figura 49. Colocación correcta de muestra 2 es espectrofotómetro



c.8 Presione Read/Enter y la pantalla mostrará wait (espere). Entonces el resultado mostrado será mg/l de hierro o lo que es igual ppm de hierro (ver figura 49).

Figura 50. Selección de Read/Enter para obtención de resultado final



4.2.3 Herramientas a utilizar en el mantenimiento de maquinaria y componentes

Como principal herramienta de control del mantenimiento preventivo y correctivo de cualquier componente del dispositivo de enfriamiento es el paquete de Microsoft Excel; el cual es vital para monitorear los datos actualizados de temperaturas, presiones, cronogramas de planificación de mantenimientos, además de pronósticos para realizar mantenimientos correctivos entre otros.

Detallando aún más el mantenimiento correctivo, existen herramientas específicas que son de vital importancia para poder ejecutarlo. Una de ellas son los cepillos de cerdas de alambre y cerdas de nylon. Dichas herramientas sirven específicamente para la limpieza de las bandejas de la torre de enfriamiento que pueden llegar a ser víctima de incrustaciones de partículas de calcio, basura, y algas, así como partículas que son fruto del desprendimiento que puede llegar a generar la corrosión en tuberías, válvulas, bombas o cualquier otro elemento.

Los Intercambiadores de Calor tipo placa, que son el objeto del presente trabajo de investigación son víctima directa de la incrustación de cristales de calcio y otros elementos, por lo que se hace necesario contar con una programación habitual de cambio de dispositivo de enfriamiento (del sistema de intercambiadores de calor y torres de enfriamiento al sistema de grupo de radiadores) para evitar el paro de operaciones. Basados en los resultados de la ficha de seguimiento de temperaturas expuesta en el apartado 5.3.1.2 se procede a efectuar el cambio momentáneo de sistema de enfriamiento para ejecutar el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento correctivo de los Intercambiadores de Calor implica el desensamble completo del dispositivo para efectuar una limpieza manual para remover las incrustaciones mencionadas anteriormente.

Los equipos de enfriamiento de agua como las Torres de Enfriamiento y los Condensadores Evaporativos tienden a acumular incrustaciones (sales, sarro) provenientes de la evaporación de agua inherentes a estos equipos. A esto se suma la acumulación de lodos resultantes de la operación de agua y aspiración de viento por parte de los ventiladores, los cuales atraen corrientes de aire las cuales arrastran consigo toda la inmundicia existente en el aire, como partículas de polvo, smog, hojas, envases de envoltorios, insectos, arena, etc.

Al pasar el tiempo sin realizar mayor mantenimiento a los equipos, ocurre que la acumulación de residuos y de incrustaciones es tal que, los productos químicos son inocuos para removerlos y lo que resta por hacer es la "Remoción Mecánica".

A continuación podemos ver algunas fotografías de un mantenimiento correctivo que se le aplica a las torres de enfriamiento de la empresa, utilizando las herramientas ya descritas anteriormente.

Figura 51. Grupo de mantenimiento de torres de enfriamiento.

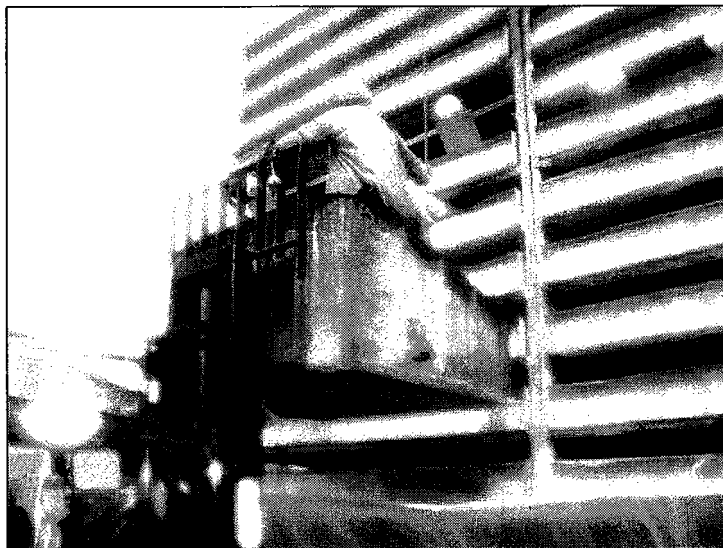


Figura 52. Limpieza de incrustaciones con cepillo de alambre.

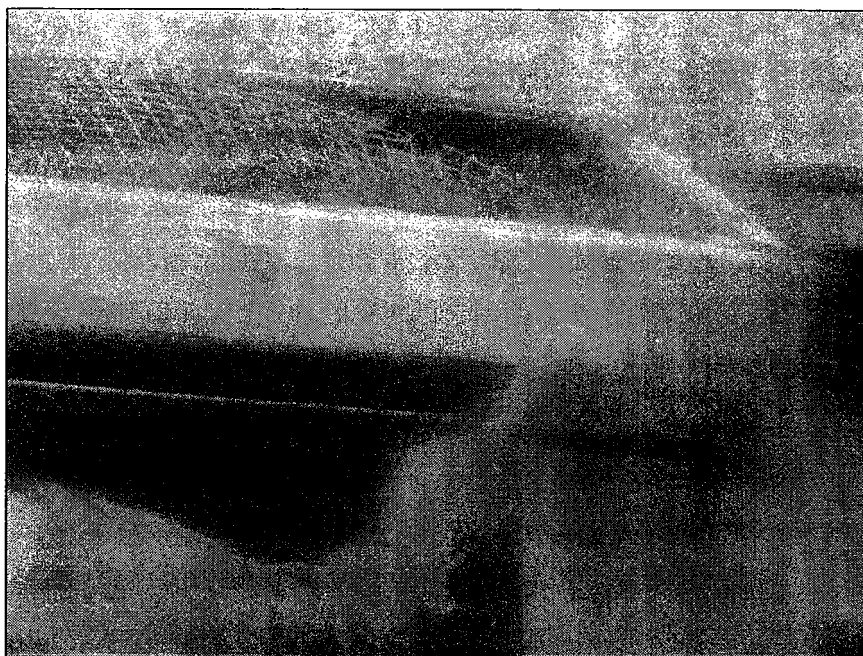
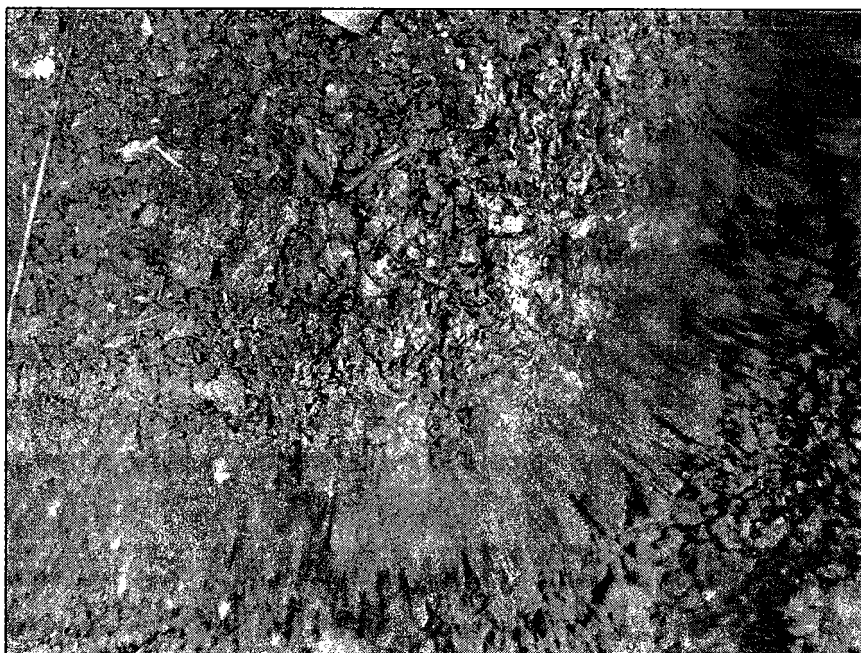


Figura 53. Acumulación de algas luego de la limpieza de la torre de enfriamiento.



Esto se lleva a cabo mediante la utilización de herramientas como martillo, cepillos, lijadoras orbitales, taladro y desbastadores, y lijas circulares y por último con hidro-lavadoras de uso industrial.

Cuando la acumulación de incrustaciones es de tan solo 0.8mm de espesor, el equipo pierde sobre un 20% de su eficiencia, lo cual indica claramente que es de suma importancia realizar una adecuada limpieza y mantenimiento de estos equipos. Las torres de enfriamiento poseen rellenos evaporativos para el intercambio de temperatura entre el agua y el aire, estos rellenos actúan como superficie de intercambio aumentando los tiempos de retención del agua mientras cae hacia la piscina de recepción de agua. Cuando estos rellenos se saturan y se obstruyen por los residuos ya mencionados, lo que queda por hacer es cambiarlos por unos nuevos o en su defecto lavarlos. Esta última opción es siempre poco apreciada por el personal de mantenimiento del equipo ya que generalmente pocas empresas lo realizan y casi nadie sabe como se debe hacer y cuales son los resultados a esperar.

Generalmente la gente tiende a creer que el lavado es algo sencillo, barato, rápido y muy efectivo. Lo cual es totalmente lo contrario en todas sus palabras. Primero que todo, el lavado nunca es 100% efectivo y su efectividad dependerá directamente del grado de obstrucción que presenten los canales del panel, el estado de cristalización del relleno y el tamaño de estos, ya que si son muy gruesos, el lavado será menos efectivo, si la obstrucción es mucha el tiempo disponible para el lavado del panel no bastara para limpiarlo completamente, debemos recordar que siempre existe limitante de tiempo ya que las faenas no se pueden extender más allá de lo programado para la parada del planta o del equipo.

Además si el relleno está muy cristalizado el lavado lo destrozara lo que dejará en evidencia la necesidad de recambio. El lavado no es algo sencillo, debido a que existen procedimientos para mover, sacar y poner nuevamente los rellenos en su lugar, que en muchos casos que he visto, cuando quedan mal puestos el agua no es retenida como debiera y el equipo no enfría como es debido. Se debe considerar el hecho en si de que cuando se lava un panel se deben atacar todos los ángulos posibles y todas las caras, regulando las diferentes presiones de salida del agua de acuerdo al estado de cada relleno en cuestión.

Cuando se realiza un recambio de paneles de rellenos por unos nuevos, solo se retiran los rellenos viejos, se lava la torre de enfriamiento y se instalan los rellenos nuevos, esto es mucho mas rápido que el lavado de rellenos ya que se deben retirar con mucho cuidado cada uno de los rellenos y lavarlos uno por uno y posteriormente volver a colocarlos lo cual toma bastante tiempo y horas hombre, por lo cual no es barato, pero tampoco es más costoso que comprar los rellenos nuevos, sino no valdría la pena para el cliente realizarlo.

De todos modos el lavado de rellenos es algo que contribuye de manera temporal a la eficiencia de la torre de enfriamiento y cuando se realiza adecuadamente en los tiempos que correspondan, puede lograr extender la vida útil de los rellenos. Otro punto importante es el lavado de la piscina de la torre, labor que se hace bastante pesada cuando la piscina es común para varias torres, cuando es individual no es tanto el problema, pero la acumulación de sedimentos y lodo es increíblemente grande. Una pequeña piscina puede llegar a acumular hasta 300 lts de lodo, esto a menudo no se puede retirar con bomba ya que existen trozos de plásticos que hay en el panel y que pueden tapar la bomba de succión.

5. SEGUIMIENTO

Se enfoca concretamente en los modelos y herramientas para la adecuada medición del funcionamiento óptimo del nuevo sistema de enfriamiento, acciones de cualquier tipo de mantenimiento del cual deba de ser sometido; dotando al lector y analista de criterios de evaluación constante del funcionamiento en general del dispositivo para conservar el enfriamiento obligatorio.

5.1 Capacitación de personal

Dentro de la planta recientemente se impulsaron unos talleres de capacitación de personal operativo, mecánicos e Ingenieros involucrados directamente con procedimientos rutinarios, datos técnicos de lubricantes, cuestiones importantes de seguridad industrial y protección personal, entre otros temas. A continuación se propone la capacitación del tema concerniente a parámetros del sistema de enfriamiento de la planta Bluref I. Para realizar un plan de capacitación el autor se basó en ciertos aspectos de la norma ISO 10,013:2005 que va dirigido tanto a personal que labora en dicha planta, como al nuevo trabajador que está por iniciar labores en la misma.

5.1.1 Objetivo

Facilitar la adaptación e integración del trabajador a la planta, su funcionamiento y a su puesto de trabajo, mediante el suministro de la información relacionada con las características y dimensiones de la misma, logrando que GESUR cuente con equipos de trabajo de alto rendimiento en todas sus dimensiones, lo que trae eficiencia y eficacia, amor al trabajo y la satisfacción de compartir con otros el desarrollo organizacional.

En la búsqueda de los mecanismos que coadyuven al desarrollo y aprovechamiento del potencial del trabajador, se ha diseñado el presente Programa de Inducción, con el objeto de mantener informados a los nuevos trabajadores del sector de la planta sobre la actividad a que se dedica específica que concierne al sistema de enfriamiento, ventajas que presta el método propuesto, obligaciones y cuidados que conlleva; con el fin de lograr la identificación del trabajador con el dispositivo de refrigeración y, proporcionar a su vez al recién llegado, las bases para una adaptación e integración con su grupo de trabajo y con el trabajo en sí; y de ésta manera alcanzar los niveles de productividad deseados.

5.1.2 Alcance y aplicación

La Inducción y Plan de Entrenamiento es una propuesta que está orientada a ofrecer un instrumento que permita a GESUR como planta de generación, lograr que sus trabajadores se adapten e identifiquen con ella, para mantener una alta eficiencia en operación y control, para formar y conservar trabajadores eficientes, altamente motivados, estimulados y capacitados. Debe ser aplicado a cada uno de los empleados del departamento de los dos turnos, a fin de aprovechar tan importante técnica para la mejor administración del Capital Humano.

5.1.3 Condiciones generales

La implementación de un programa de inducción que permita al personal, conocer todo lo referente a temperaturas y presiones de operación, recorrido del circuito, conocer en mínimo detalle los parámetros del circuito, sus diferentes elementos y el papel que desempeña cada uno de ellos, el funcionamiento de los intercambiadores de calor, el mantenimiento que se les

aplica, los beneficios de contar con ellos, entre otros temas; y toda aquella información necesaria para la identificación del mismo con la sección de la planta, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Proporcionar al trabajador información referente al contexto general de la sección o departamento que se induce; es decir, su estructura y sus dimensiones, y una breve reseña de lo utilizado con anterioridad.
- Dar a conocer a los nuevos trabajadores sobre las ventajas que conlleva el realizar el trabajo con ética y afán de mejora continua.
- Suministrar al trabajador información sobre los beneficios que le conlleva a la planta el mantener un sistema de refrigeración eficiente y controlado en todo momento.
- Contribuir a la identificación del trabajador con su situación de trabajo y todo lo que ello implica.
- Mantener informado a todo el personal de los cambios que se produzcan en la sección, en cuanto a políticas, normas, procedimientos y cambios de estructura.
- Proporcionar al trabajador si es que es de nuevo ingreso, las bases para una adaptación con su grupo de trabajo.
- Los empleados deben creer que el esfuerzo producirá satisfacciones, gratificaciones y recompensas.
- Orientar el trabajo específico del empleado, es necesario familiarizar al empleado con el lugar de trabajo.
- Mostrarle su lugar específico de trabajo, el mobiliario, equipo e instrumentos de trabajo.
- Mostrarle los artículos y suministros necesarios para el desempeño de sus labores, así como el procedimiento con que deben solicitarse cuando se agoten.

- Explicar la organización departamental y general y su relación con otras actividades de la compañía.
- Explicar la contribución individual del empleado a los objetivos del departamento y sus asignaciones iniciales en términos generales.
- Comentar el contenido del puesto con el empleado y proporcionarle una copia de la descripción del mismo.
- Requerimientos para la conservación del empleo: explicar los criterios de la compañía en relación con:

5.1.4 Políticas y normas del programa de inducción

5.1.4.1 Políticas

- El Departamento Capacitaciones conjuntamente con los Supervisores inmediatos donde esté ubicado el nuevo trabajador, deben ser los encargados de dar a conocer el Programa de Inducción de la organización.
- Todo el personal que ingrese a la empresa debe ser sometido al proceso de inducción, con el fin de facilitar la información que permita lograr la identificación con su departamento y sus obligaciones; de tal forma que su incorporación cubra todos los aspectos de un adecuado ajuste a su puesto de trabajo.
- El Programa de Inducción, deberá ser evaluado periódicamente por el Departamento de Capacitaciones, conjuntamente con el Supervisor inmediato; con el fin de realizar los ajustes necesarios que aseguren la permanencia del programa.
- El Programa de Inducción, debe estar sujeto a cualquier cambio que se produzca en ese departamento de la planta, con el objeto de mantenerlo actualizado.

5.1.4.2 Normas

- El Departamento de Capacitaciones es el encargado de coordinar el Programa de Inducción, igualmente velará por el desarrollo del proceso.
- El Proceso de Inducción se realizará periódicamente, con una duración de las horas que el jefe del departamento donde se efectúa la inducción considere necesarias, ya que de lo contrario se fomenta el tiempo de ocio.
- El Departamento de Capacitaciones deberá entregar al nuevo trabajador, el Manual de Inducción y el Folleto de Higiene y Seguridad Industrial, durante el proceso de Inducción.
- La Inducción específica del puesto, será realizada por los Supervisores de las distintas áreas a la cual se asigne el trabajador, realizando las actividades necesarias para lograr el cumplimiento de este objetivo.
- El Programa de Inducción debe ser revisado periódicamente por el Departamento de Capacitaciones y Seguridad Industrial.

Al culminar el Programa de Inducción el trabajador deberá llenar un formato suministrado por el Departamento de Capacitaciones, denominado "Evaluación de Formaciones y Seguimiento de Inducción y Entrenamiento del departamento de _____", para así dar una opinión acerca del proceso realizado. (DEPTO / AREA)

5.1.5 Actividades de la inducción por etapas

5.1.5.1 Bienvenida

Esta fase tiene como finalidad el recibimiento de los nuevos trabajadores, dándoles la bienvenida a dicha sección de la planta, donde el Departamento de Capacitaciones realizara las siguientes actividades:

- Recibe al nuevo trabajador y le facilita los formularios de diagnóstico para su diligenciamiento.
- Envía cronograma de actividades del programa de inducción y lista de los nuevos trabajadores de su área que asistirán a la charla de inducción y comunica a los responsables de cada acción.
- Contacta al nuevo trabajador y lo cita para la fecha, hora y lugar.
- Dirige al trabajador al sitio donde se dictara la inducción general.
- Informa la finalidad del proceso de inducción.
- Entrega el Manual de Inducción con el Manual de Funciones, el Reglamento Interno de trabajo, manual de operaciones del departamento, y el Manual de Seguridad e Higiene Industrial.

5.1.5.2 Introducción a la organización.

En esta etapa se suministra al nuevo trabajador información general sobre GESUR, a objeto de facilitar su integración con la organización.

- **Confidencialidad:** Debe guardar absoluta confidencialidad de su gestión de trabajo y mantener resguardados todos los documentos, a fin de evitar su extravío y el que personas no autorizadas conozcan su contenido.
- **Calidad de operaciones:** Independientemente del cargo que ocupe y del área de trabajo, la calidad del trabajo prestado es de vital importancia. Debe mantener en todo momento buenas relaciones con el personal y el cliente, además, de atender las labores encomendadas con responsabilidad y eficiencia.
- **Relaciones con los empleados:** La relación con todos los empleados tiene como base el respeto a la dignidad de individuo sin discriminación de raza, religión, nacionalidad, color, sexo, edad, ni inclinación sexual, estado civil o familiar o incapacidad no relacionada a la función disponible.

5.1.5.3 Evaluación y seguimiento

El propósito de esta etapa es garantizar un desarrollo adecuado del Programa de Inducción, y retroalimentar el programa y realizar ajustes. En esta fase se evalúan los resultados obtenidos, con la aplicación de la Evaluación de Formaciones y Seguimiento a la Inducción y Entrenamiento, a fin de aplicar los correctivos correspondientes, siendo responsable de esto el Departamento de Recursos Humanos.

5.1.5.4 Entrenamiento

El entrenamiento es un método sistemático y práctico para orientar a una persona sobre cómo hacer su trabajo correctamente, con seguridad y eficiencia desde la primera vez.

El propósito es brindar toda la información necesaria para que la persona pueda desarrollar las habilidades y destrezas que le permitan desempeñar su trabajo con estándares de calidad, productividad, control de costos y seguridad, que la empresa ha definido desde el momento que inicie sus labores.

En este caso nos ocupa el manejo y control del sistema de enfriamiento para la planta Bluref I, por lo que una breve introducción del funcionamiento actual y el planificado para una mejora gradual debe de ser explicado.

5.1.5.5 Preparación

De acuerdo a cada área se define claramente los objetivos en términos de las habilidades o destrezas que se espera adquiera el trabajador al finalizar el periodo de entrenamiento, se tendrá en cuenta el Manual de Funciones y Perfil

de Cargos, y la Valoración de Cargos con respecto a estas necesidades, donde se determinaran las características principales de la persona a entrenar. Se especifican las tareas que desempeñara el nuevo empleado, y el tiempo que se dispone para el entrenamiento y como se desarrolla cada una de las sesiones de trabajo. Para las sesiones de trabajo se incluye la preparación de medios y materiales para el entrenamiento (Planos, equipos, materiales, dibujos y otros implementos necesarios).

5.1.5.6 Proceso de enseñanza (aprendizaje en el puesto de trabajo)

Se realizara de tal forma que se sigan los siguientes pasos:

1. Indagar y preparar al trabajador
2. Demostrar las tareas que tiene que realizar
3. Ensayar la ejecución de las operaciones
4. Hacer seguimiento y comprobar si logró los objetivos
5. Estimular la participación

1. **Indagación:** Preguntar lo que ya sabe de la operación, despertar el interés del trabajador por conocer mas acerca de la tarea, indicándole como su trabajo esta relacionado con otros y con la empresa como totalidad. Presentar los objetivos especificados de la sección y hacer coincidir sus objetivos con los objetivos y las expectativas que la organización tiene respecto a su desempeño, el facilitador debe mostrarse siempre dispuesto a atender positivamente todas las dudas e inquietudes que presente el entrenado.

2. **Demostración:** Explicar paso a paso las tareas que componen la operación, integrando lo nuevo con el saber previo del trabajador, usando palabras que pueda comprender fácilmente o explicando las palabras técnicas; el facilitador debe dar la posibilidad de pensar, de preguntar y de investigar. Lo anterior conlleva a que el trabajador confie más en su capacidad de trabajo y sienta, desde el momento de su ingreso que tiene autonomía para resolver problemas y espacios abiertos de participación. En algunos casos es necesario hacer la demostración con la ayuda de videos, diapositivas, fotografías, cartillas y otros que puedan representar gráficamente cada fase del proceso.
Evitar saturar al trabajador para que no se le genere confusión, y tener en cuenta que se debe de ir de lo más simple a lo complejo y de lo particular a lo general.
3. **Ensayo:** Se debe hacer que el nuevo empleado ejecute la operación explicando los puntos claves, reforzando los aciertos y corregir los errores cometidos, si es posible hacerlo de manera física o presencial dentro del sistema de enfriamiento, que es el que nos ocupa en este caso. Es básico realizar preguntas sobre diferentes aspectos del trabajo que obliguen al trabajador a usar su imaginación, su buen juicio y su creatividad. ¿Qué pasaría si...?, ¿Qué haría usted si...?. Se debe de explicar y mostrar de nuevo la tarea y hacer que el trabajador la ensaye también de nuevo. Esto hasta se esté seguro que la ha comprendido suficientemente.
4. **Seguimiento:** Una vez el trabajador se encuentre por si solo realizando el oficio, el facilitador debe evaluar la efectividad del entrenamiento, esto debe repetirse hasta que se tenga la certeza de que el trabajador esta en capacidad de realizar las labores encargadas, se debe indicar a quien se

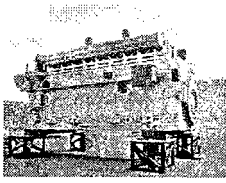
debe dirigir en caso de dudas o dificultades. Dependiendo de las características del oficio, se necesita delegar en un operario experimentado, la función de acompañamiento y seguimiento al desempeño del trabajador.

5. **Participación:** Define las acciones diarias dirigidas a estimular en el trabajador su mejoramiento continuo. Es así como las ideas que salen de los mismos trabajadores tendientes a mejorar un proceso o a solucionar un problema, sean tenidas en cuenta, puedan ser socializadas con el resto de sus compañeros.

5.1.6 Evaluación para el programa de inducción

El presente instrumento tiene por finalidad recopilar información que permita evaluar el Programa de Inducción, aplicado a personal que labora actualmente y al de nuevo ingreso a la planta GESUR, con el fin de realizar correctivos necesarios para el mejoramiento del mismo. Para llevar el control necesario se sugiere distribuir el presente documento a los asistentes del curso de inducción, con el fin primordial de tabular los datos finales para llevar un control estadístico que sirva como parámetro real de autoevaluación del programa.

Cada participante deberá responder los cuestionamientos que ahí se formulan, basándose específicamente en apreciaciones propias al tomar el curso de inducción. Al inicio del cuestionario no está de más hacer conciencia al personal asistente sobre la seriedad del caso, así como la utilidad del mismo para futuras usanzas dentro del departamento.



DEPARTAMENTO DE CAPACITACIÓN Y ENTRENAMIENTO
TEXTILES DEL LAGO POWER STATION
PLANTA GENERADORA I y II "GESUR"

FECHA: _____

Instrucciones:

1. Lea el cuestionario detenidamente.
2. Marque con una equis (X) la respuesta que usted considere viable.
3. No deje preguntas en blanco.
4. El cuestionario es anónimo, por lo tanto no es necesario identificarlo.

Gracias por su colaboración.

Ambiente físico.

- a. El espacio físico (sala) donde se dictó la inducción fue:

Excelente

Bueno

Regular

Deficiente

- b. La iluminación y el sonido de la sala fue:

Excelente

Bueno

Regular

Deficiente

c. De que manera se cumplió el horario:

Excelente

Bueno

Regular

Deficiente

Material De Apoyo

a. Recibió algún material didáctico impreso (folletos, manuales, etc.) durante la inducción:

Sí

No

b. El material didáctico que recibió durante la inducción completo todos los renglones de su interés:

Sí

No

c. Considera usted que la cantidad y calidad del material didáctico fue:

Excelente

Bueno

Regular

Deficiente

d. Los medios audiovisuales utilizados fueron:

Excelente

Bueno

Regular
Deficiente

Desenvolvimiento de los expositores

a. El dominio del tema por parte de los expositores fue:

Excelente
Bueno
Regular
Deficiente

b. La explicación del tema por parte de los expositores fue:

Excelente
Bueno
Regular
Deficiente

c. El conocimiento del tema fue percibido como:

Excelente
Bueno
Regular
Deficiente

d. Recibió la bienvenida de parte del Supervisor Inmediato:

Si
No

e. Su Supervisor Inmediato le presentó a sus compañeros de trabajo:

Sí

No

f. Se le suministró la orientación e información necesaria para ocupar el cargo:

Si

No

g. Recibió información de parte del Supervisor Inmediato en cuanto a la descripción de su cargo:

Sí

No

h. Considera que la información recibida le permite identificarse con la empresa:

Si

No

Contenido del programa

a. Se le suministró información general de la empresa en cuanto: Historia, objetivos, estructura, políticas, normas, misión y visión:

Sí

No

b. Se le dio la bienvenida al ingreso en GESUR.:

Si

No

c. Se le informó con relación a sus derechos y obligaciones como trabajador:

Sí

No

d. Recibió material didáctico con información relativa a la empresa y el departamento donde se va a desempeñar:

Si

No

e. Considera que la charla recibida le proporciona aportes para desempeñar las labores que le sean encomendadas:

Sí

No

Generales

a. ¿Qué aspectos positivos le causó el Programa?

b. ¿Cuáles fueron los aspectos menos valiosos?

5.2 Acciones correctivas

Muchos encargados de mantenimiento en las plantas industriales, solicitan realizar mantenimientos a sus torres de enfriamiento, ya sea mediante su propio personal o con empresas externas.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, las torres de enfriamiento son equipos que están muy abandonados del programa de mantenimiento general, de hecho lo que más frecuentemente revisan son los ventiladores junto con el motor, pero olvidan (por varias razones) lo más importante, el relleno evaporativo.

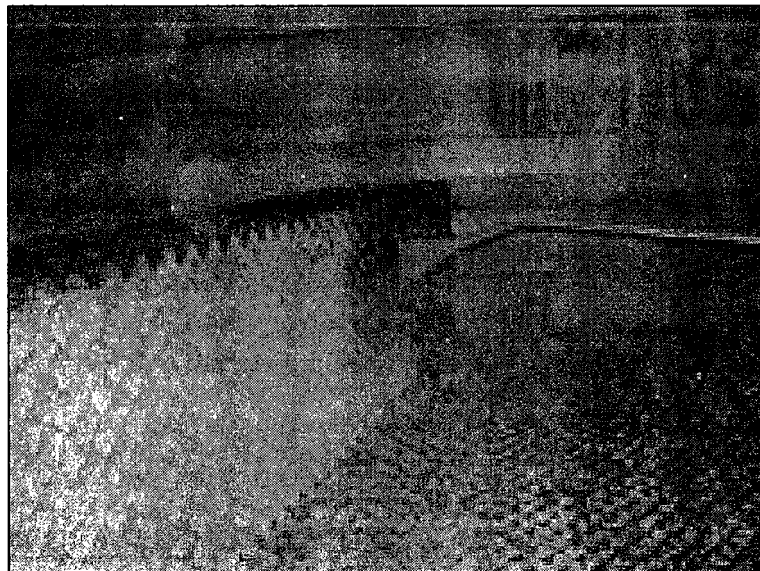
Entre las razones de porque no se preocupan mucho de la torre de enfriamiento en forma integral se debe principalmente a una falta de conocimiento respecto del panel de relleno, debido a que a veces tienen configuraciones especiales, son complicados de retirar, y porque llevan cierta forma de distribución.

En muchos otros casos, este descuido es intencional, porque se evita "gastar recursos" y tiempo en la mantenimiento integral del equipo. Pero esta última razón es bastante delicada y no se debe tomar a la ligera, porque estos equipos funcionan todo el año y son cruciales para la producción, ya que si se detienen generan diversos problemas en la línea de producción de una planta. Este supuesto ahorro de recursos y tiempo, puede llegar a jugar una mala pasada debido a que las pérdidas por detención inesperada de estos equipos pueden llegar a ser cuantiosas.

Figura 54. Relleno de torre de enfriamiento con incrustación en exceso



Figura 55. Limpieza de rellenos de torre por medio de hidro-lavado a presión.



Esta situación de abandono de los equipos, muchas veces pasa porque el encargado de mantenimiento solo esta un tiempo en su cargo y no necesita mas complicaciones y labores de las que ya tiene, y como las torres aguantan y aguantan, no se preocupan realmente de ellas a menos que colapse la temperatura de salida.

Pero para entender un poco más acerca del la mantenimiento de la torre, centrémonos en el relleno. Esta claro que una torre de enfriamiento sin motor, ventilador, o toberas, no trabajaría, pero el principal elemento que le otorga eficiencia a una torre de enfriamiento es el relleno que lleva en su interior, el cual aporta hasta un 70-85% de la eficiencia. Esto ocurre debido a que la función del panel de relleno es aumentar la superficie de contacto entre el agua y el aire y retener el máximo tiempo posible el agua entre sus canales. Esta eficiencia se ve notoriamente afectada en la medida que se producen incrustaciones en la superficie del relleno, o comienza la acumulación de lodo cualquier tipo de material que obstruya los canales del panel.

Hay muchos en que la limpieza de estos rellenos es efectuada por personal interno o externo, la cual consiste básicamente en la limpieza de la piscina y a veces retiran el panel y lo lavan con agua, rociando los paneles con mangueras del tipo jardín, o en el mejor de los casos con una manguera para incendio, lo cual es un poco mejor. Sin embargo, ambas situaciones son solo una pérdida de tiempo y dinero, puesto que solo mojan el relleno y la suciedad interior del panel esta lejos de ser removida.

Esto es mucho más notorio cuando se trata de lavar paneles del tipo laminar de canales angostos. Hay empresas que prestan servicios que sugieren "lavados químicos". Este tipo de lavado es efectivo solamente cuando la obstrucción es de unos pocos milímetros, de lo contrario el producto químico

no interactúa con las superficies. Además para ese tipo de lavado se requiere una buena accesoria para no desperdiciar dinero debido a que todos los residuos que se acumulan en la torre de enfriamiento varían de equipo en equipo dependiendo de sus procesos, contaminación aérea, lugar de ubicación, etc. De todas formas se debe tener mucho cuidado porque si la carcasa del equipo es metálica, puede ser dañada si el producto es ácido o básico.

La mejor forma de realizar la limpieza de un panel de relleno es mediante el uso de agua a alta presión con una Hidro-lavadora de uso industrial, la cual tiene gran presión de salida de agua y un chorro de agua muy concentrado, y dependiendo de donde se realice el lavado puede ser también usada una hidrolavadora del tipo portátil, de menor caudal y similar presión, es un poco más lenta la limpieza pero de similar eficiencia. Con esto se evita la generación de riles contaminantes, se aprovecha mucho más el agua, y el lavado es mucho más eficiente.

5.3 Observación y análisis de procesos operativos

Este procedimiento se deberá realizar de manera rutinaria debido a la importancia que implica el mantener un sistema de enfriamiento eficiente. De hecho en la actualidad se lleva un control riguroso del mismo por medio de los paneles electrónicos de monitoreo instantáneos, y es en ellos mismos donde se pueden obtener datos actualizados de temperaturas instantáneas de operación del agua de enfriamiento.

5.3.1 Evaluación

La evaluación debe de ir fundamentada en dos vías directas para su análisis, la primera es de manera visual, la cual implica un recorrido

programado en cada 2 semanas en todo el sistema de refrigeración, para poder constatar que no existen problemas de obstrucción de tuberías o propiamente en los componentes de la torre de enfriamiento diseñada. La segunda forma es a través de registros existentes en las fichas de control de temperaturas y dispositivos auxiliares para el funcionamiento del sistema.

Ahora por supuesto existen factores determinantes para saber si conviene o no un lavado de relleno. Entre estos factores se encuentran, tipo de suciedad a limpiar, grado de incrustación de suciedad, tiempo disponible para el lavado, tipo de panel a lavar, lugar físico donde se llevará a cabo el lavado (dentro o fuera de la torre) grado de cristalización del relleno, entre otras.

Todos estos factores deben ser considerados para una buena evaluación y posterior ejecución de la tarea de limpieza. Si la evaluación arroja un resultado negativo para la limpieza, entonces no queda más remedio que cambiar los paneles.

Entonces para responder la pregunta formulada ¿es efectivo el Lavado? La respuesta es si pero su eficiencia depende enteramente de la evaluación y ejecución correcta de la limpieza. Aun así, siempre es bueno tener en cuenta, que aunque se cumplan las condiciones óptimas para un lavado, este nunca será 100% eficiente, pero un lavado bien ejecutado, puede prolongar la vida útil del relleno y aumentar la eficiencia de la torre de enfriamiento.

Además vale la pena decir, que mientras más tiempo pasa, y mientras más empeoran las condiciones del relleno, cada vez es menos aconsejable realizar un lavado. Por ejemplo, si el relleno esta nuevo y pasan 2 años hasta que realizan un lavado este será mucho más eficiente que realizarlo después de 5

años, dado que la condición del relleno se hace irreversible a partir de cierto punto en el tiempo.

5.3.1.1 Seguimiento al sistema de enfriamiento

MANTENIMIENTO

Durante la puesta en marcha de una torre de enfriamiento deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Efectuar una inspección visual sobre ventiladores, motores y reductores de velocidad, debe hacer correcta lubricación y la correa del ventilador debe estar tensada.
- Debe controlarse el sentido de giro y las vibraciones del ventilador, ajustar el ángulo de los álabes si es necesario.
- Inspeccionar los rellenos, comprobar el buen estado, la correcta colocación y la posible formación de algas que obstruya el paso del aire.
- La válvula que controla la reposición debe estar en buen estado y en la medida de lo posible sin corrosión que impida su funcionamiento.

Durante la operación pueden aparecer algunos problemas comunes que se describen a continuación:

- **Una distribución irregular del agua.**

Puede deberse a obstrucciones en los pulverizadores, rellenos deteriorados o caudal de agua excesivo.

- **Temperatura elevada a la salida de la torre.**

Puede deberse a un excesivo flujo de agua, rellenos mal colocados o en

mal estado o aire insuficiente. Se recomienda comparar las condiciones de operación con las condiciones de diseño y comprobar el estado de los rellenos.

- **Agua de reposición excesiva.**

Puede deberse eliminadores de gotas mas ubicados o rotos, excesivo flujo de agua o demasiada inclinación de las palas del ventilador.

En cuanto al mantenimiento periódico que debe efectuarse sobre una torre cabe anotar lo siguiente:

- Cada dos meses se recomienda una inspección de los rellenos, evaluar su posición y realizar limpieza manual para retirar algas, hongos y demás incrustaciones.
- Puede realizarse una limpieza anual de las balsas.
- Evaluar el rendimiento de las bombas y de los ventiladores periódicamente, se recomienda contar con las curvas características de dichos elementos y realizar mediciones eléctricas que permitan conocer la eficiencia de la operación.

Deben realizarse evaluaciones de la calidad del agua de recirculación para evitar niveles de acidez y alcalinidad inadecuados que generen problemas de incrustaciones en los rellenos, corrosión en las tuberías y erosión sobre los materiales. En la figura a se presenta una tabla con los niveles de sólidos recomendados en el agua de recirculación.

5.3.1.2 Ficha de seguimiento de temperatura y otros aspectos

En la próxima figura se propone el seguimiento a cada hora de temperaturas en el sistema propiamente a la entrada y salida de los intercambiadores de calor tipo placas, con el objeto de contar con registros de la temperatura ambiental a determinada hora así como las presiones de funcionamiento de las bombas de distribución de agua de recirculación tanto en HT como en LT. En la misma ficha de seguimiento podemos constatar si fue necesario el contar con los grupos de radiadores encendidos que es lo que al final se trata de evitar por los altos costos de operación.

Tabla IX. Hoja para el seguimiento del funcionamiento de los intercambiadores de calor tipo placas.

HORA	% DE CARGA	TEMP. LT			MARLEY ON	Rad. Gr. # de Grupos	Motivo	DIENTES BY-PASS	TEMP. Ambiente	TEMP. Piscina	PRES BOMBA
		IN	OUT	ΔLT							
1:00											
2:00											
3:00											
4:00											
5:00											
6:00											
7:00											
8:00											
9:00											
10:00											
11:00											
12:00											
13:00											
14:00											
15:00											
16:00											
17:00											
18:00											
19:00											
20:00											
21:00											
22:00											
23:00											
0:00											

5.3.2 Control

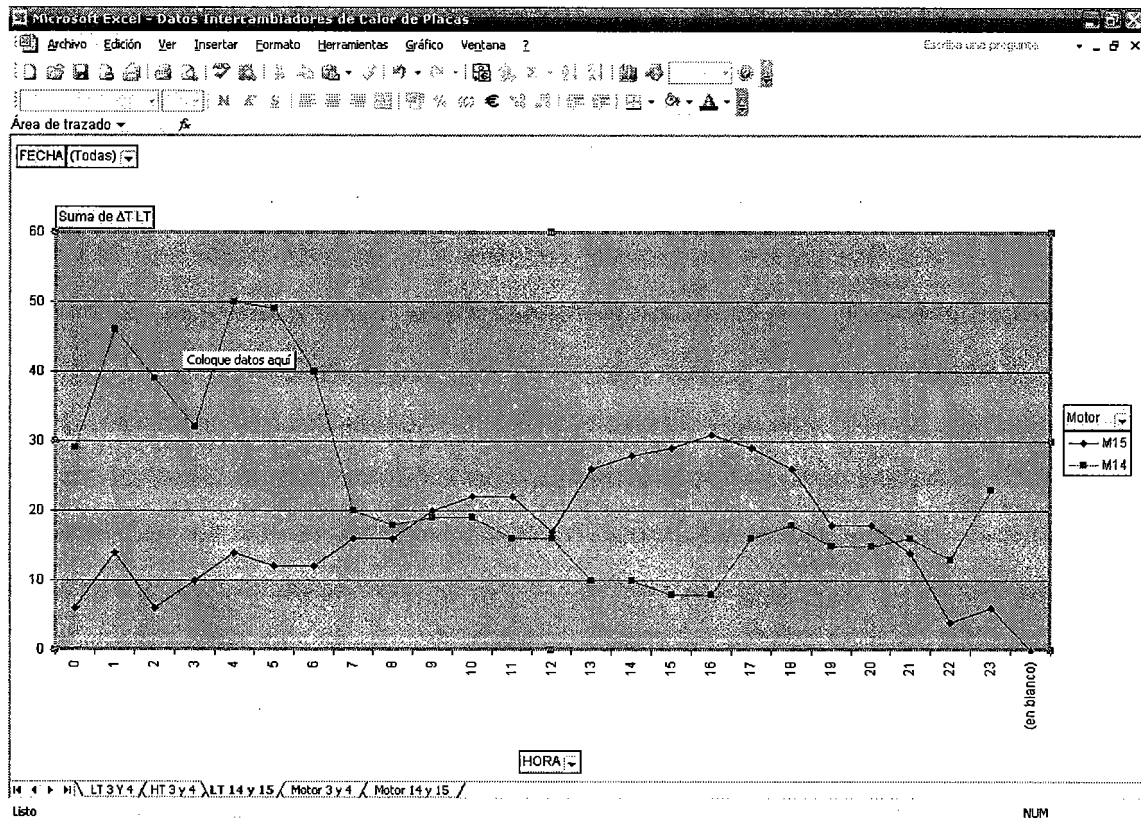
El control debe de realizarse en el instante que el encargado de mantenimiento lo crea conveniente según se presenten problemas en el funcionamiento en general. La única forma en la que se puede optimizar el control es mediante la digitalización de la anterior ficha de control de temperaturas y otros aspectos con el objeto de poder utilizar dichos datos para realizar gráficas y observar de mejor manera la forma en como el gradiente de temperatura del intercambio del calor se va reduciendo. En la próxima figura podemos observar que en Microsoft Excel es un paquete que se adecua perfectamente a los requerimientos de control instantáneo de las lecturas.

Figura 56. Control del comportamiento de temperaturas de los intercambiadores de calor tipo placas en Microsoft Excel.

1	A	B	E	F	G	H	I	J	K	M	N	O	P	Q
2	Motor	FECH	HOR	% DE CARG	II	OU	ΔT L	MARLEY	Rad. On	DIENTES	AMBIENTE	PISCINA	P. BOMBA	OBSERVACIONES
24	M14	20-may	22	90	27	30	0	0	0	0	27	30	0	
25	M14	20-may	23	90	27	30	3	0	0	0	27,8	27,9	3	Bomba Parada por trabajos en piscina
26	M14	20-may	0	90	28	37	9	1	1	0	21,5	27	3	Bomba Parada por trabajos en piscina
27	M14	21-may	1	90	28	37	9	1	1	0	21	26,7	3	
28	M14	21-may	2	90	26	37	11	1	1	0	20	26,2	3	
29	M14	21-may	3	90	26	38	10	1	1	0	20	25,5	3	
30	M14	21-may	4	85	25	35	10	1	1	0	20	25	3	
31	M14	21-may	5	85	25	35	10	1	1	0	22	24	3	Bomba Parada por trabajos en piscina
32	M14	21-may	6	100	32	36	4	1	1	0	32,8	24,6	3	
33	M14	21-may	7	100	32	36	4	1	1	0	23,9	24,8	3	
34	M14	21-may	8	100	32	38	6	1	2	0	27,2	25,3	3	
35	M14	21-may	9	100	32	38	6	1	2	0	28,1	25,1	3	
36	M14	21-may	10	100	32	36	4	1	2	0	21,8	25,3	3	
37	M14	21-may	11	100	32	36	4	1	2	0	31,8	26,1	3	
38	M14	21-may	12	100	34	38	4	1	2	0	34,8	26,9	3	
39	M14	21-may	13	100	34	38	4	1	2	0	30,8	26,9	3	
40	M14	21-may	14	100	34	38	4	1	2	0	29,1	26,5	3	
41	M14	21-may	15	100	29	30	2	1	2	0	29,1	26,5	3	
42	M14	21-may	16	100	29	30	2	1	2	0	27,9	27,9	3	
43	M14	21-may	17	100	29	38	10	1	1	0	27,9	27,9	3	
44	M14	21-may	18	100	29	38	10	1	1	0	27,9	27,9	3	Cambio de barra
45	M14	21-may	19	100	29	36	7	1	1	0	29,6	28,6	3	
46	M14	21-may	20	100	29	36	7	1	1	0	26,2	27,4	3	
47	M14	21-may	21	100	27	35	8	1	1	0	24,1	26	3	
48	M14	21-may	22	100	27	35	8	1	1	0	23,3	26	3	
49	M14	21-may	23	100	26	35	9	1	1	0	24,2	25,6	3	
50	M14	21-may	0	100	26	35	9	1	1	0	25	25	3	Motor parado
51	M14	22-may	1	95	26	38	9	1	1	0	25,2	25	3	
52	M14	22-may	2	95	24	34	10	1	1	0	24	23,4	3	
53	M14	22-may	3	95	24	34	10	1	1	0	24,2	23	3	
54	M14	22-may	4	95	24	34	10	1	1	0	24,1	23	3	
55	M14	22-may	5	95	34	35	1	1	1	0	22	25	3	
56	M14	22-may	6	100	22	28	6	1	1	0	27,6	25,3	3	
57	M14	22-may	7	100	22	28	6	1	1	0	27,6	25,5	3	
58	M14	22-may	8	100	24	28	4	1	2	0	34,2	25,5	3	
59	M14	22-may	9	100	24	28	4	1	2	0	34,4	25,6	3	

Partiendo de los datos ingresados en Microsoft Excel podemos realizar un gráfico dinámico para ver el comportamiento del gradiente de temperatura en función de la hora a la que ha operado el sistema de enfriamiento.

Figura 57. Gráfico dinámico en base a datos de intercambiadores de calor.



Una variación brusca entre gradientes a distintas horas nos da la pauta de la necesidad de aplicar mantenimiento correctivo a los intercambiadores de calor. En la gráfico dinámico podemos observar la comparación que se hizo en el gradiente de temperatura de LT de dos motores, mostrando estos a determinada fecha y en varios rangos horarios una exagerada variación con respecto a las lecturas anteriores, por lo que tenemos un patrón infalible que nos demuestra ya la necesidad de aplicar mantenimiento.

5.3.3 Normas

El presente apartado es exclusivamente un compendio de sugerencias que se ponen a juicio del encargado del procedimiento, todo con el propósito de intentar una estandarización de procesos de control en el seguimiento del sistema de refrigeración ampliado con la torre de enfriamiento diseñada. En cada uno de los incisos de la normativa se incluye la palabra “debe” que viene a implicar un compromiso por parte del responsable del subproceso para evitar la ausencia de cumplimiento en cada uno de los incisos de la norma.

- Luego de estudiar el plan de capacitación adjunto se le **debe** de dar seguimiento al mismo, convocando a todo el personal que tenga contacto o responsabilidad directa con el uso, funcionamiento y mantenimiento del sistema de refrigeración y específicamente en la torre de enfriamiento.
- Los datos **deben** de ser tomados y registrados durante todo el turno en la ficha para el seguimiento de temperaturas y otros aspectos; como mínimo se **debe** de hacer a cada hora por el mecánico responsable de su estación de motor.
- El operador de turno **debe** de ingresar los datos a la hoja de cálculo de Microsoft Excel predeterminada de presiones y gradientes de temperatura para cada uno de los intercambiadores de calor tipo placas que funcionan en la planta, y observar los comportamientos por medio de los gráficos dinámicos que se ejecutan automáticamente al contar con datos, y de haber una variación abrupta y constante de más de dos grados en el gradiente de temperatura, el operario debe de notificar inmediatamente al jefe de turno o al Ingeniero de mantenimiento de equipos auxiliares.
- Los datos **deben** de ser ingresados como máximo el turno posterior al que fueron tomados, su actualización en la hoja de cálculo es

fundamental para un monitoreo constante que permita tomar acciones preventivas.

- Todos los domingos durante el turno diurno, **debe** de hacerse una inspección visual de rutina con el propósito de establecer si se empieza a manifestar incrustaciones de cualquier tipo en todo el circuito de enfriamiento.
- Se **debe** de planificar una limpieza manual como mantenimiento correctivo del dispositivo de enfriamiento por lo menos una vez al mes, en donde el funcionamiento de los motores se vea reducido por la baja demanda de consumo de energía; el objeto primordial de la limpieza manual es evitar la acumulación de incrustaciones que al final reduzcan la eficiencia del funcionamiento de todo el sistema de enfriamiento.
- Se **debe** de aplicar biocidas en dosis correctas por lo menos una vez a la semana, para impedir el crecimiento excesivo de algas y que éstas lleguen a incrustarse.
- Se **debe** de llevar un control de registros de aplicación de biocidas en una bitácora a efecto de medir el desempeño de los mismos en función de la cantidad de su aplicación y el tiempo transcurrido desde la última concentración del mismo.

considerable de temperatura, tanto HT como LT (separándose cada cual en su ramal respectivo). A la salida del motor es necesario enfriar el agua de nuevo para reiniciar el ciclo de refrigeración; por lo que es necesario ingresar a un grupo de radiadores. Los *INTERCAMBIADORES DE CALOR TIPO PLACA* vienen a realizar la función óptima de “intercambiar el calor” del fluido que sale del motor al fluido que viene del sistema de enfriamiento con el doble propósito de ser una etapa de pre-refrigeración del líquido que sale y pre-calentamiento del líquido que proviene del sistema de enfriamiento, para evitar una recirculación interna del líquido enfriado antes de ingresar al motor.

3. Los componentes que operan actualmente en el sistema de enfriamiento en la planta de generación Bluref I son:

- Bomba HT de suministro del sistema de enfriamiento de la Placa.
- 4 manómetros análogos
- Bomba HT de circulación interna del motor
- Refrigerador del aire de carga (*Charge air cooler*)
- Intercambiador tipo Placa HT
- Grupo de radiadores
- 8 Válvulas tipo mariposa
- Bomba LT de suministro del sistema de enfriamiento de la Placa.
- Bomba LT de circulación interna del motor
- Refrigerador de aceite lubricante (*Lube oil cooler*)
- Intercambiador de placas LT
- Grupo de radiadores
- Filtro en Y (para separación de agua HT y LT)
- Flautas de enfriamiento
- Techos

CONCLUSIONES

1. El sistema de enfriamiento es un dispositivo vital para el funcionamiento óptimo de un motor de combustión interna. En el presente caso se tuvo la oportunidad de observar los problemas más frecuentes que llegan a acontecer dentro de un sistema de refrigeración, por lo que basado en inspecciones constantes e investigaciones que se ajustan a los parámetros de funcionamiento de los intercambiadores de calor tipo placas, se puede concluir que los aspectos principales para un control satisfactorio de su operación implica el registro, actualización, digitalización y monitoreo de las siguientes variables:
 - Hora de registro
 - Porcentaje de carga del motor
 - Temperatura de entrada del intercambiador
 - Temperatura de salida del intercambiador
 - Temperatura ambiental
 - Presión de la bomba de recirculación
2. El sistema de enfriamiento interviene directamente en el funcionamiento de los motores de combustión interna para la generación de energía eléctrica, siendo esta última el producto que comercializa la empresa. En el procedimiento de arranque del motor es necesario una etapa de precalentamiento del agua llevando desde la temperatura ambiente hasta 52⁰C, para iniciar el recorrido del circuito, mientras se da la etapa de precalentamiento existe una recirculación interna gracias a una electro válvula de tres vías quien se encarga de determinar el paso al circuito completo del agua con la temperatura adecuada. Posteriormente al adquirir la temperatura necesaria, el agua ya entra de lleno al circuito de enfriamiento del motor, pasando directamente por éste y llegando a sufrir un aumento

- Canales
 - Suavizadores
 - Torre mecánica de enfriamiento
 - Torre Marley
 - Piscinas de captación de agua (tanques)
 - Válvulas de mariposa.
 - Electro válvula de tres vías
4. El hecho de continuar con un sistema ineficiente de enfriamiento que obligue a utilizar los grupos de radiadores para la planta de generación, implica un gasto constante de energía que a la larga viene a ser innecesario, puesto que no se aprovechan los recursos ambientales con que cuenta el sector. La cantidad de horas que un motor pasa convocadas al día son alrededor de 20 horas por jornada, y asumiendo un año comercial de 360 días, obtendríamos un consumo de energía de 1,792,800 kWh en un año. El costo precio de venta de un kilovatio hora es de un quetzal con quince centavos, por lo que el costo total del funcionamiento asciende a la escandalosa cantidad de **Q. 2,061,720.00** aproximadamente. Se estima un costo de mantenimiento anual de **Q. 348,738.59** por conceptos de repuestos eléctricos y mano de obra directa para tal rubro, por lo que el simple hecho de mantener el sistema de radiadores implica un costo total de **Q. 2,410,458.59**.
5. Los preceptos técnicos que se siguieron para determinar la necesidad de ampliar el sistema de enfriamiento actual de la planta incluyeron estudios ambientales con anemómetros e instrumentos capaces de determinar variables propias en el ambiente del sector; entre ellas podemos mencionar, las temperaturas de bulbo seco y húmedo, la humedad relativa del aire, el punto de rocío, temperaturas máximas y mínimas dependiendo de cada

estación del año, entre otras. Todo lo anterior aunado a los requisitos de funcionamiento que presentan los motores, tal es el caso de determinado caudal de circulación, temperatura de agua de entrada y salida del sistema así como los problemas que existen por utilizar mantos acuíferos del sector como suministro principal de agua. Los pasos financieros para la toma de decisión final se limitan al uso de herramientas de Ingeniería económica que permiten hacer una comparación real de todas las opciones que se manejaron en su oportunidad.

6. Según investigaciones efectuadas con el propósito de indagar por un dispositivo de enfriamiento capaz de suministrar agua con un gradiente de 30 grados centígrados, la opción que se ajustó más a las necesidades de funcionamiento fueron las torres de enfriamiento de marca GEA que son dispositivos con una vida útil de operación muy prolongada y una excelente absorción del ruido. Cuando se utiliza cemento, madera tratada químicamente o fibra de vidrio de alta resistencia y recubrimientos adecuados, éstas pueden ser usadas con agua de enfriamiento muy agresiva.
7. Después de analizar detenidamente el contenido de la investigación del presente documento, es factible y pertinente concluir que por razones económicas se hace viable la ejecución de un proyecto de ampliación y mejora del sistema de enfriamiento actual, con el propósito principal de reducir considerablemente los costos de operación. Gracias a un análisis de Valor Presente Neto nos percatamos que la inversión para la construcción y montaje de una nueva torre de enfriamiento que logre cubrir la demanda que requieren los motores es menor al diez por ciento del costo de operación de los grupos de radiadores instalados por dos motores de generación.

RECOMENDACIONES

En esta sección se presenta una serie de recomendaciones que se deben tener en cuenta para un correcto funcionamiento de las torres de enfriamiento y para un óptimo aprovechamiento de la energía empleada en su operación.

1. Verificar que las bombas estén operando en el punto de mayor eficiencia.
2. Evitar al máximo la regulación de flujo en los sistemas a través del uso de válvulas, placas de orificio o elementos similares. Se obtienen resultados más eficientes cuando la velocidad de rotación del motor puede variar de manera continua. La economía de energía es tanto mayor cuanto más frecuentemente se marche en régimen de agua parcial.
3. Instalar controles automáticos de temperatura que manejen las bombas y ventiladores de las torres de enfriamiento, para que estos no operen sino durante los períodos estrictamente necesarios.
4. Instalar controles de nivel en todos los tanques para evitar pérdidas de agua por los reboses.
5. Bombear únicamente la cantidad de agua requerida por el sistema de enfriamiento y evitar el sobredimensionamiento.
6. Utilizar filtros que den baja caída de presión de 5 a 8 psi (34,55 kpa a 76,89 kpa) y alta densidad de filtración 3 gpm/pie (122,16 lpm/m).

7. Utilizar torres de enfriamiento con rellenos de alta eficiencia y boquillas que den baja caída de presión de 5 a 7 psi (34,55 kPa a 48,36 kPa), mantener en óptimo estado los eliminadores de rocío.
8. Mantener los sistemas de intercambio de calor libres de incrustaciones y depósitos aislantes
9. Instalar elementos de medición en cada sistema para poder mantener bajo control los índices de consumo.
10. Hasta donde sea posible utilizar los retornos y transportes por gravedad.
11. Cambiar rellenos de goteo por rellenos laminares, ofrecen mayor eficiencia y pueden reducir el volumen del mismos.

Si se piensa en un cambio a gran escala puede considerarse lo siguiente: Conversión de torre de tiro atmosférico a torre de tiro forzado, conversión de torre de tipo forzado a torre de tiro inducido, conversión de torre de flujo cruzado a torre de flujo en contracorriente (ver anexos).

7. Grijalva Espinoza, Edgar Estuardo. Guía para el control y eliminación de la corrosión galvánica en los sistemas de enfriamiento por agua. Trabajo de graduación Ingeniería Química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. USAC, 2000.
8. Hess T. C., Kunz R. G., Yen A. F., "Cooling Water Calculations", Chemical Engineering Manual. Ed. Mc Graw Hill. 4ta. ed.
9. Méndez de León, Eleazar Pablo José. Mantenimiento y selección de sellos mecánicos en la planta de generación eléctrica "GESUR". Trabajo de graduación Ingeniería Mecánica Industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. USAC, 2007.
10. Perry Ed, H Jhon, Manual del Ingeniero Químico, tomo 1. Ed. Hispanoamericana. 3ra. ed.
11. Sapag Chain Nassir, Sapag Chain Reinaldo, Fundamentos de preparación y evaluación de proyectos. Bogotá: Ed. McGraw-Hill, 1985 2da. ed.
12. Wark Kenneth, Termodinámica. México: Ed. McGraw-Hill, 1987. 5ta. ed.

BIBLIOGRAFÍA

1. Banco Interamericano de Desarrollo, Evaluación: una herramienta de gestión para mejorar el desempeño de los proyectos. Nueva York: Ed. El Banco, 1997.
2. Boles Michael A., Cengel Yunus A., Termodinámica. México: Ed. McGraw-Hill, 2002. 4ta. ed.
3. Borstcheff B., Jorge. Algunas consideraciones sobre criterios en la preparación y evaluación de proyectos industriales en países en vías de desarrollo. Trabajo de graduación Ingeniería Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. USAC, 1973.
4. Bustamante Barberena, Gerardo Adolfo. Situación actual e implementación de mejoras, en el mantenimiento mecánico de los sistemas de enfriamiento por agua y de suministro de agua de proceso de planta San Miguel, de Cementos Progreso, S.A. Trabajo de graduación Ingeniería Industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. USAC, 2006.
5. Callejas Otto, Grajeda Walter, Administración y dirección de proyectos: evaluación de proyectos. Guatemala : Ed. Quality Print, 1999. 2da. ed.
6. Contreras Morales, Willy Alfredo. Apuntes del curso termodinámica 2. Trabajo de graduación Ingeniería Mecánica. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. USAC, 2002.

ANEXOS

ÍNDICE DE SATURACIÓN DE LANGELIER

El ISL da una idea cualitativa de qué tan estable es el agua considerada con relación a la precipitación de CaCO_3 .

Se define como: $ISL = pH - pH_S$ donde $pH_S = (pK_2 - pK_S) + pCa + pAlc$

siendo: pK_2 el logaritmo negativo de la constante de la segunda disociación del ácido carbónico

pK_S el logaritmo negativo de la constante del producto de solubilidad

pCa el logaritmo negativo de la concentración de calcio

$pAlc$ el logaritmo negativo de la alcalinidad

Un ISL positivo denota la tendencia del agua a precipitar carbonato de calcio, mientras que un ISL negativo indica que el agua tiene tendencia a disolver las incrustaciones.

Generalmente, el pH_S se calcula, a partir de un nomograma, como:

$$pH_S = pCa + pAlc + C$$

donde: C es un valor que depende del contenido de sólidos totales disueltos del agua y de la temperatura.

ÍNDICE DE ESTABILIDAD DE RYZNAR

Se define el índice de estabilidad de Ryznar, como:

$$ISR = 2pH_S - pH$$

De acuerdo al valor obtenido, se maneja una escala que indica la tendencia incrustante o corrosiva del agua.

ISR	Condición
3.0	Extremadamente incrustante
5.0	Severamente incrustante
5.5	Moderadamente incrustante
5.8	Levemente incrustante
6.0	Estable
6.5	Estable con leve tendencia corrosiva
7.0	Levemente corrosiva
8.0	Moderadamente corrosiva
9.0	Fuertemente corrosiva

Se determina porque el yacimiento va estar sometido a una determinada presión, generalmente la mayor parte del tiempo va a ser un valor lejano a la condición atmosférica, para poder determinar cuánto vale este parámetro es introducido la presión de estado ideal para evaluar o para transformar este comportamiento de estado ideal a un gas real.

Z es un factor corrección introducido en la ecuación general de los gases y puede ser obtenido experimentalmente dividiendo el volumen real de n moles de un gas a una presión y temperatura por el volumen ideal ocupado por la misma masa de gas a condiciones iguales de presión y temperatura.

Este sistema sometido a una presión mayor, que sería la presión del yacimiento, va a tener un nuevo volumen, el número de moles se va a mantener, pero ahora el sistema ya no es un sistema de gas ideal sino de gas real, porque la fuerza de atracción afecta y no puede ser expresado matemáticamente como $PV = nRT$, sino que va ser expresado como $PV = ZnRT$, agrupando esto dos términos y asumiendo que el número de moles es constante, R es la constante universal de los gases, que es la misma para ambos casos y T es la misma en ambos casos, porque estamos asumiendo un sistema isotérmico, quedando Z igual a:

ÍNDICE PRÁCTICO DE INCRUSTACIÓN

El Índice Práctico de Incrustación, desarrollado por Puckorius, es similar al de Ryznar, salvo que utiliza un valor calculado de pH del agua en lugar del pH medido en el circuito.

$$PSI = 2pH_S - pH^*$$

donde:

$$pH^* = \log(HCO_3^-) + pK_1 - \log(CO_2)$$

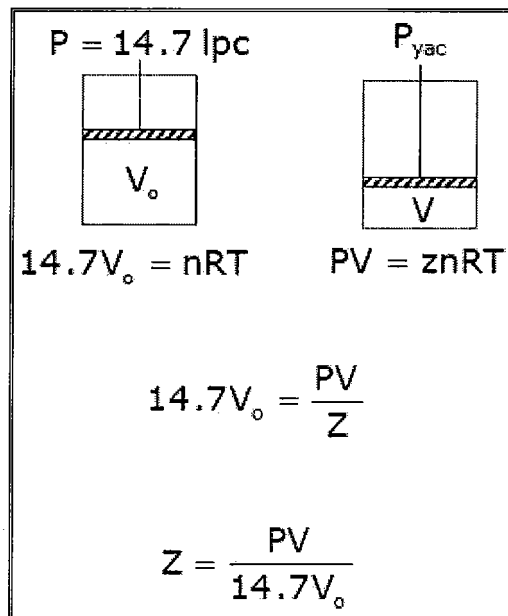
siendo: pK_1 el logaritmo negativo de la constante de la primera disociación del ácido carbónico

Tasas de corrosión aceptable

Tubos intercambiador	de Acero de Baja aleación	0.5 MPA o menor
Tubos intercambiador	de Aleaciones de Cobre	0.2 MPA o menor
Tubos intercambiador	de Acero inoxidable	0.2 MPA o menor
Líneas	Acero de Baja aleación	3 – 5 MPA

En todos los casos sin picaduras; MPA = mils por año

Forma en que se determina el factor de compresibilidad de un gas.



Si quisiéramos tener factores de compresibilidad necesitaríamos esa relación entre volúmenes y presiones, estos es en el puntos de vista experimental.

Cómo se hace desde punto de vista matemático

En el año 1856 establece el principio de los estados correspondientes Van Der Waals establece que todos los gases tienen el mismo factor de compresibilidad a iguales condiciones de presión y de temperatura reducidas.

El factor de compresibilidad va a hacer una función que va depender de la temperatura reducida y de la presión reducida. Donde la presión reducida va hacer igual a la presión entre la presión crítica y la temperatura reducida va ser igual a la temperatura entre la temperatura crítica.

$$Z = f(Pr, Tr)$$

Donde:

$$Pr = P / Pc = \text{Presión reducida}$$

$$Tr = T / Tc = \text{Temperatura reducida}$$

Pc, Tc = Presión y Temperatura crítica absolutas del gas

P, T = Presión y Temperatura absoluta

W. B. Kay en 1936 aplicó el principio de los estados correspondientes pero ahora para unas mezclas de hidrocarburos. En este caso todas las mezclas de hidrocarburos tiene el mismo factor de compresibilidad a iguales condiciones de presión y temperatura pseudoreducida de una mezcla de componente que forma el hidrocarburo, un gas puede estar conformado por metano, etano y propano, es decir que ahora de condiciones reducida de presión y temperatura va a ser una función de la condiciones crítica de presión y temperatura de cada uno de los componentes de la mezcla.

W. B. Kay dijo al igual que Van Der Waals, que una función de la presión reducida y temperatura reducida, pero ahora Z va a ser una función de la presión pseudoreducida (presión reducida) de la mezcla y de la temperatura pseudoreducida (temperatura reducida) de la mezcla, donde la presión pseudoreducida sería la presión entre la presión la presión pseudocrítica y la temperatura pseudoreducida es la temperatura entre la temperatura pseudocrítica, donde esa temperatura pseudocrítica sería la temperatura crítica o una función de la temperatura crítica de cada uno de los componentes que conforma la mezcla de hidrocarburos, es decir que ahora necesitamos asociar las temperaturas críticas de cada componente con la fracción molar de ese componente para determinar una temperatura crítica de la mezcla.

$$Z = f(P_{sr}, T_{sr})$$

Donde:

$$P_{sr} = P / P_{sc} = \text{Presión pseudoreducida}$$

$$T_{sr} = T / T_{sc} = \text{Temperatura pseudoreducida}$$

P_{sc}, T_{sc} = Presión y Temperatura pseudocríticas del gas

P, T = Presión y Temperatura absoluta

Cada mezcla de hidrocarburo está compuesta por una determinada fracción molar de determinados componentes de hidrocarburos, va desde C1 hasta Cn, entonces para determinar la presión pseudocrítica y la temperatura pseudocrítica de una mezcla, lo que se hace es iniciar la sumatoria de la fracción molar del componente por la presión crítica de ese componente y así con todos los componentes, de esta forma obtengo la presión pseudocrítica. Por otro lado, si fuera un solo componente, digamos que el sistema es únicamente metano la fracción molar sería uno, uno por la presión crítica es la presión crítica, la presión pseudocrítica sería igual a la presión crítica, porque el único componente es el metano.

$$P_{sc} = \sum_{i=1}^N P_{ci} Y_i$$
$$T_{sc} = \sum_{i=1}^N T_{ci} Y_i$$

Donde:

Y_i = Fracción molar del componente i

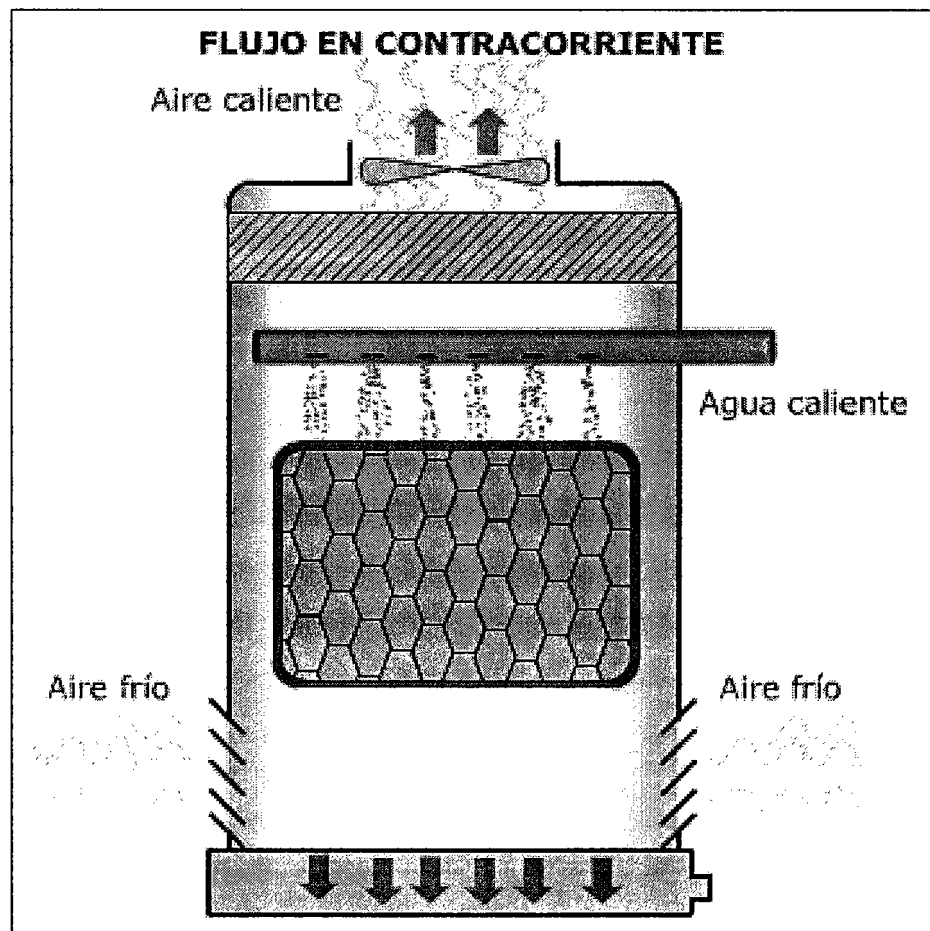
Z es una función de la presión seudoreducida y de la temperatura seudoreducida.

Componente		Concentración aproximada
1. Nitrógeno	(N)	78.03% en volumen
2. Oxígeno	(O)	20.99% en volumen
3. Dióxido de Carbono	(CO ₂)	0.03% en volumen
4. Argón	(Ar)	0.94% en volumen
5. Neón	(Ne)	0.00123% en volumen
6. Helio	(He)	0.0004% en volumen
7. Criptón	(Kr)	0.00005% en volumen
8. Xenón	(Xe)	0.000006% en volumen
9. Hidrógeno	(H)	0.01% en volumen
10. Metano	(CH ₄)	0.0002% en volumen
11. Óxido nitroso	(N ₂ O)	0.00005% en volumen
12. Vapor de Agua	(H ₂ O)	Variable
13. Ozono	(O ₃)	Variable
14. Partículas		Variable

A partir de la teoría anterior es necesario calcular el factor Z de compresibilidad para el aire que circula en los alrededores.

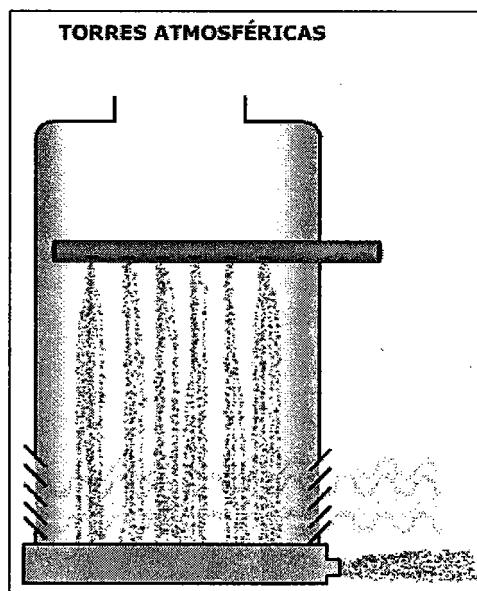
CLASIFICACIÓN DE TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento pueden clasificarse de muchas maneras. Una de ellas hace referencia al tipo de relleno utilizado (relleno laminar o relleno de goteo). Otro tipo se da de acuerdo con la forma en que ocurre el intercambio entre el agua y el aire (flujo en contra corriente).



TORRES ATMOSFÉRICAS

En las torres atmosféricas el agua cae en flujo cruzado con el aire. Éstas presentan bajos costos de mantenimiento, con ellas no es posible lograr acercamientos pequeños y pueden ser construidas con rellenos o sin rellenos.

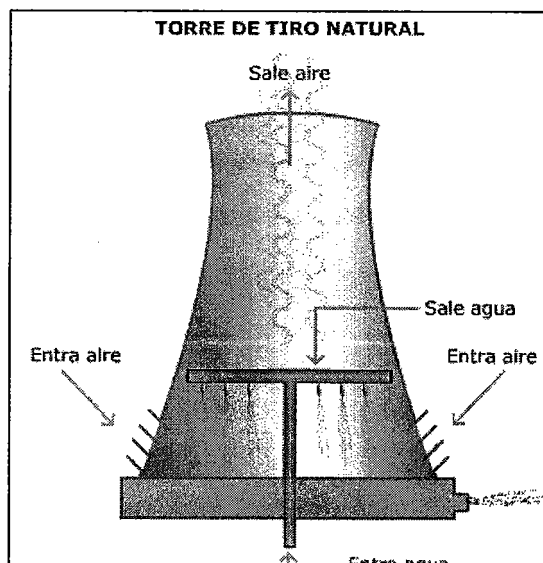


TORRES DE TIRO NATURAL

Las torres de tiro natural, generalmente tienen la forma de chimenea hiperbólica (Ver figura). En ellas el agua caliente proveniente del proceso se pone en contacto con el aire, provocando su calentamiento y su ascenso como consecuencia de la disminución de su densidad. El aire ascendente provoca una depresión en la parte inferior de la torre generándose la posibilidad de la admisión de aire fresco.

Estos equipos presentan bajos costos de mantenimiento y de operación debido a que no tienen consumo eléctrico, se emplean para manejar grandes capacidades de enfriamiento y requiere bajas temperaturas de aire a la entrada. Son comúnmente utilizadas en centrales eléctricas o industrias de gran tamaño.

Es posible también encontrar una modificación sobre este tipo de torres que se conoce como tiro natural asistido, consiste en mejorar el flujo de aire por medio de ventiladores de tiro forzado que se instalan en la parte inferior de la misma.



TORRES DE TIRO MECÁNICO

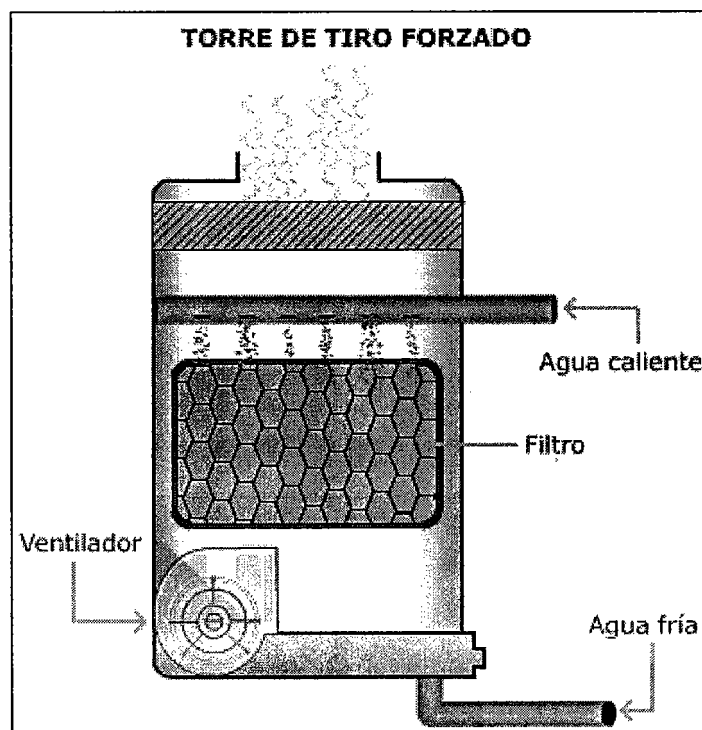
Las torres de tiro mecánico emplean ventiladores para controlar el flujo de aire que entra a la torre, son compactas y brindan buen control sobre las condiciones de salida del agua. Sin embargo presentan altos costos de operación y mantenimiento. Existen dos tipos principales de torres de tiro mecánico:

- **Torres de tiro forzado.**

Los ventiladores toman el aire del ambiente y lo impulsan a través de los rellenos; es más eficiente que la de tiro inducido debido a que el ventilador mueve aire frío.

- **Torres de tiro inducido.**

Los ventiladores toman el aire del interior de la torre y lo expulsan al ambiente en la parte superior. Es el tipo de torre más utilizado en la industria.

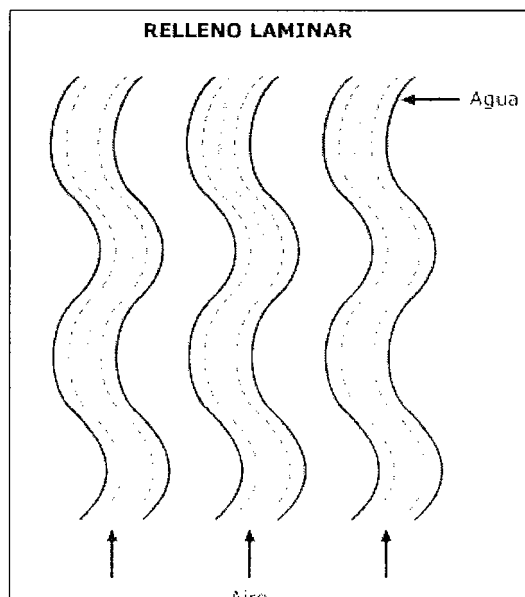


COMPONENTES BÁSICOS

Las torres de enfriamiento se componen de 7 elementos básicos que se describen a continuación.

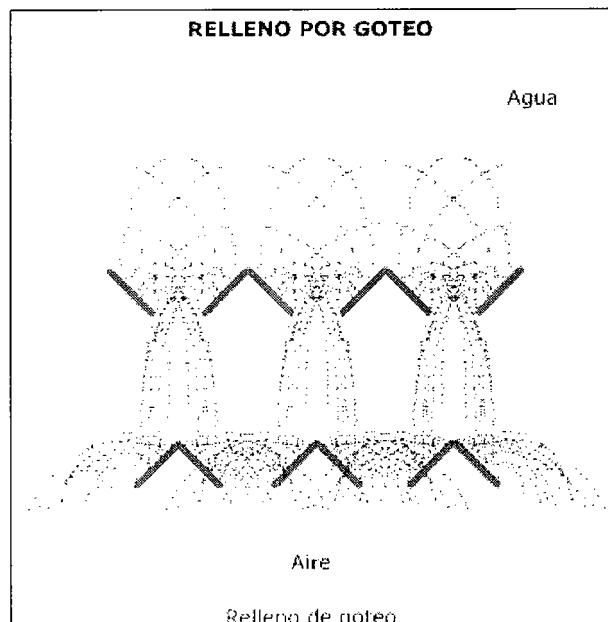
- **Sistema de distribución de agua.**

Hace referencia a la manera como se vierte el agua sobre la torre. Existen dos tipos de sistemas, uno que opera por gravedad y otro por presión. El primero se compone de un recipiente y unos agujeros que distribuyen el agua; tiene bajos costos de operación debido a la poca potencia de bombeo que requiere y es de fácil mantenimiento. Sin embargo no se usa en torres que operen a contraflujo debido a las dificultades que presentan en la distribución uniforme del agua. El segundo se compone de sistemas de pulverización con toberas orientadas hacia abajo que pueden ser en forma de espina de pescado o rotativas. Brindan mayor rendimiento al sistema pero su mantenimiento es mas frecuente, y los consumos energéticos son mayores.



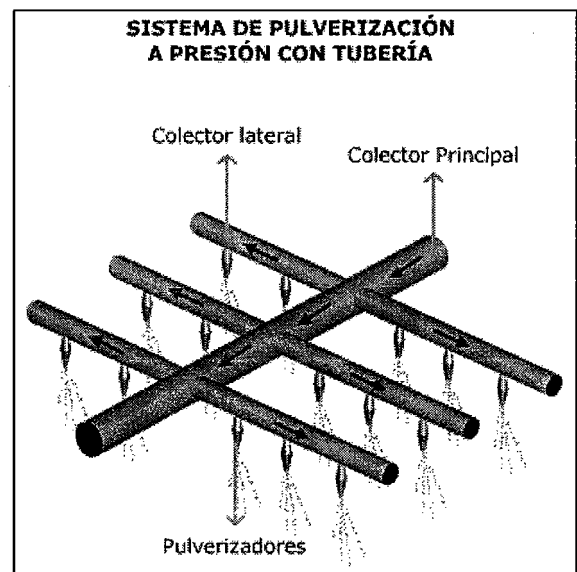
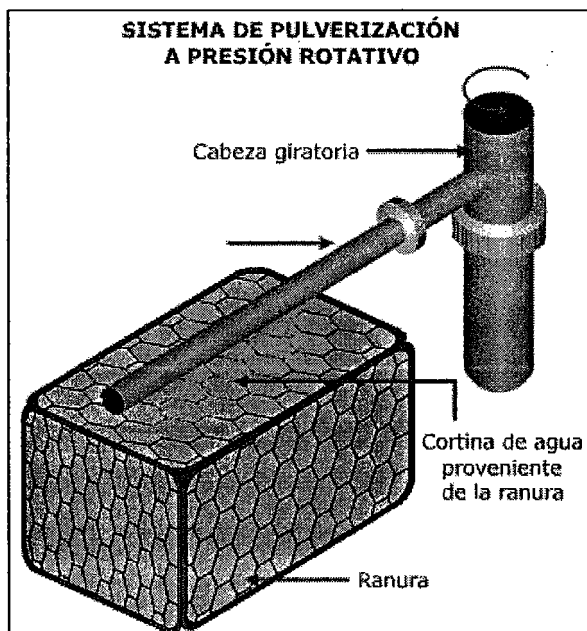
- **Relleno.**

Es el material empaquetado que tiene la torre en su interior, su finalidad es brindar mayor tiempo y área de contacto del aire con el agua. El relleno debe provocar poca resistencia al paso de aire y mantener una distribución uniforme del agua durante todo su recorrido. Pueden diferenciarse dos tipos de relleno: de goteo y de película o laminares. En los rellenos de goteo las gotas de agua caen sobre una serie de pisos superpuestos que van haciendo la gota cada vez mas pequeña. Puede presentar arrastre de gotas, por lo que se recomienda el uso de eliminadores de gota. Los rellenos laminares proporcionan mayor capacidad de enfriamiento, son más eficientes y no producen tanto goteo al exterior del equipo, sin embargo requiere un mantenimiento más frecuente.



- **Eliminadores de gotas.**

Los eliminadores básicamente retienen las gotas de agua arrastradas por el aire que salen de la torre. Son paneles ubicados en la parte superior que redireccionan el flujo y separan las gotas del aire, haciéndolas caer de nuevo sobre el relleno, tienen dos efectos positivos; el primero es reducir la reposición del agua y el segundo evitar la formación de ambientes saturados que puedan afectar las torres adyacentes.



ECUACIONES CARACTERÍSTICAS

La transferencia de energía entre el aire y el agua se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{\text{reposición}} = \dot{m}_{\text{aire seco}} (\omega_2 - \omega_1)$$

Donde:

L: Flujo másico de agua en kg/h

T₁ y T₂: temperatura de entrada y salida del agua de la torre en °C

G: Flujo másico de aire en kg/h

h₁ y h₂: Entalpía de entrada y salida del aire en Kcal/kg°C

C_p: Calor específico del agua, puede tomarse como C_p=1 kCal/kg°C

Es posible evaluar el anterior balance de energía en forma diferencial entre dos puntos internos de la torre de tal manera que

$$L dT = G dh$$

Al interior de la torre existe un volumen efectivo de transferencia, compuesto tanto por los rellenos como por los espacios vacíos por los que fluye el agua y el aire y define un área total de transferencia conocida como *a*. Con base en ésta área puede calcularse la transferencia de energía de la siguiente forma:

$$L dT = K a dV (h_w - h_a) = G dh$$

Donde:

K: Parámetro experimental común al agua y al relleno definido por el fabricante

h_a : Entalpía del aire en cada punto calculada con base en la temperatura de bulbo húmedo.

h_w : Entalpía del aire saturado a la temperatura del agua en cada punto de la torre.

De la ecuación anterior se obtiene por integración dos expresiones independientes:

$$\boxed{\frac{KaV}{L} = \int_{T1}^{T2} \frac{dT}{h_w - h_a}} \quad \text{y} \quad \boxed{\frac{KaV}{G} = \int_{h1}^{h2} \frac{dh}{h_w - h_a}}$$

La primera ecuación se conoce como Característica termodinámica y la segunda ecuación de Merkel. Se define una curva característica del fabricante que relaciona el valor de KaV/L , con la relación agua-aire L/G , su cálculo se efectúa de manera experimental. Existe otra curva denominada característica requerida, que expresa el término ECN como función de L/G . En la figura a se observan ambas curvas.

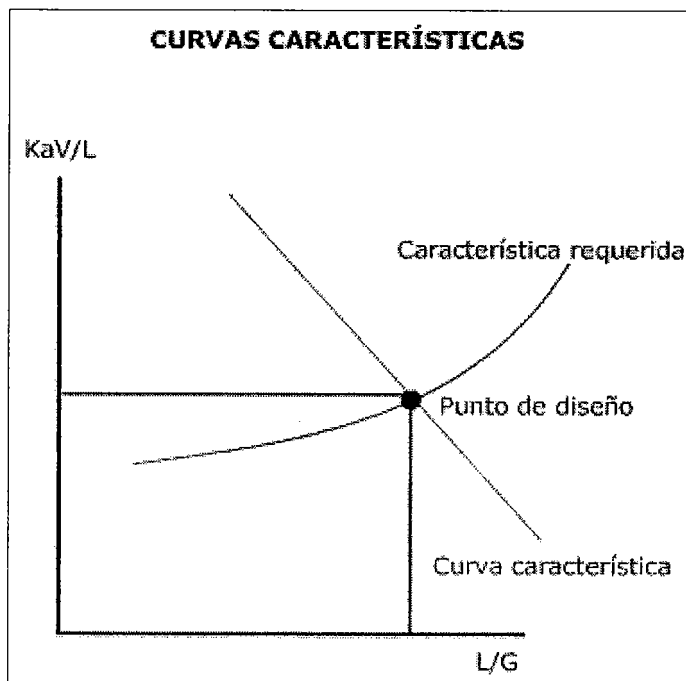
En muchos casos la curva característica se obtiene con base en ecuaciones y coeficientes que brinda el fabricante sobre el tipo de relleno, en la figura b se presentan algunos valores de estos coeficientes. Con dichos coeficientes puede construirse el término KaV/L como función de L y G y de esta forma graficarlos en el diagrama. La característica requerida se grafica como función del acercamiento y se encuentra en literatura de diseño de torres, en la figura c se presenta una tabla típica para varios valores de acercamiento.

En la sección se presenta un ejemplo práctico donde se emplean las curvas y adicionalmente se evalúa el rendimiento de una torre de tiro mecánico mediante el método de la curva característica.

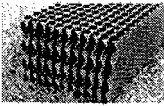
Mediante un balance de masa es posible obtener una expresión para el agua de reposición, valor importante cuando se desean evaluar los costos de operación de la torre, la reposición se calcula como:

$$\dot{m}_{\text{reposición}} = \dot{m}_{\text{aire seco}} (w_2 - w_1)$$

donde w_2 y w_1 son las humedades específicas del aire a la salida y la entrada de la torre respectivamente.

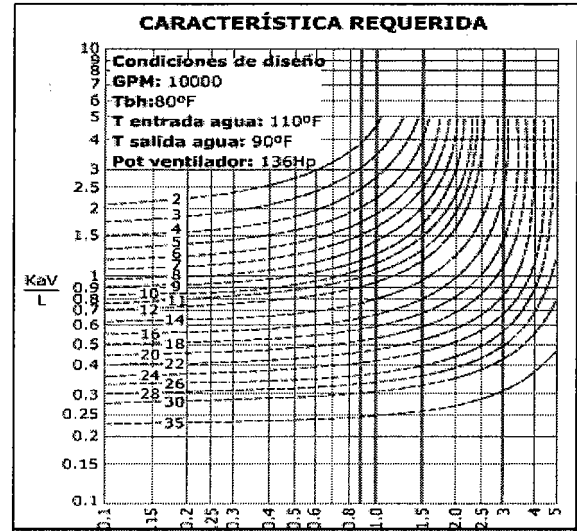


COEFICIENTES SEGÚN EL TIPO DE RELLENO



$$Ka = C \cdot (L)^m \cdot (G)^n$$

Marca Munters	Altura [cm]	Constante para Ka		
		C	m	n
Contraflujo	30.48	0.288	0.25	0.75
CF12060	60.96		0.14	0.86
	91.44	0.214	0.12	0.88
	121.9	0.187	0.13	0.87
Contraflujo	60.96	0.133	0.16	0.84
CF19060	91.44	0.133	0.09	0.91
	121.9	0.131	0.04	0.96



RENDIMIENTO Y EFICIENCIA

La evaluación energética de una torre de enfriamiento puede hacerse desde varios puntos de vista. El primero de ellos hace referencia a la eficiencia de una torre y puede calcularse como el cociente entre la energía retirada al agua y la máxima que se podría retirar, de acuerdo a las condiciones atmosféricas del sitio o en términos de temperaturas puede expresarse como

$$\eta = \frac{T_{\text{entrada agua}} - T_{\text{salida agua}}}{T_{\text{entrada agua}} - T_{\text{bh aire de entrada}}}$$

Una eficiencia superior al 60% refleja un buen desempeño de la torre, valores inferiores a este indican posibles problemas en los rellenos, flujos inadecuados de aire debido a fallas de los ventiladores o flujos inadecuados de agua debidos a fallas de operación en las bombas.

El segundo punto de vista hace referencia al rendimiento de la torre, trata de evaluar el comportamiento en términos de capacidad de enfriamiento de agua y se basa en los datos nominales de diseño y en la curva característica brindada por el fabricante. La evaluación del rendimiento es una opción que brinda más información, pero en muchas ocasiones es difícil contar con las curvas de diseño.

Fuente: Hess T. C., Kunz R. G., Yen A. F., **“Cálculos para el agua de enfriamiento”**, Manual del Ingeniero Químico. Mc Graw Hill.