

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Reingeniería del sistema de agua de enfriamiento de una planta  
de producción de conductores eléctricos”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Gustavo Daniel Pino Avegno

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2003

## AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de alguna forma colaboraron en el desarrollo de este trabajo, a la empresa INCABLE por la oportunidad que me brindaron y especialmente al Ing. Ernesto Martínez, director de tesis, por su ayuda y colaboración.

## DEDICATORIA

A MI FAMILIA

A LOS AMIGOS

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Ing. Francisco Andrade S.  
SUB-DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Ernesto Martínez L.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Mario Patiño A.  
VOCAL

---

Ing. Federico Camacho B.  
VOCAL

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

---

Gustavo Pino Avegno

## RESUMEN

El presente trabajo consiste en rediseñar el sistema de agua de enfriamiento de una planta de producción. INCABLE S.A. es una industria dedicada a la producción de conductores eléctricos de cobre y aluminio, y que desde 1991 comenzó también con la fabricación de enchufes, para lo cual poseen maquinarias correspondientes tales como inyectoras, extrusoras, trefiladoras, etc., que utilizan agua para el enfriamiento de las mismas, pero con el paso del tiempo debido al crecimiento de la demanda local y a la exportación de los enchufes se produjo un incremento desordenado de las maquinarias utilizadas en producción.

Ante esta situación se han producido varios problemas en la producción debido a la sobrecarga del sistema de enfriamiento del agua y al poco mantenimiento de la torre de enfriamiento, que ha llevado al daño de la misma y como resultado se produce el rechazo de productos por parte del control de calidad de las muestras tomadas en el proceso por la deformación del recubrimiento de PVC de los cables debido a la baja velocidad de enfriamiento del mismo.

Como practicante de la ESPOL entre a laborar en INCABLE S.A. en Abril del 2003 y me fue asignado este proyecto con el fin de eliminar pérdidas de producción causadas por el sistema de agua de enfriamiento actual.

Esta tesis presentará alternativas de solución a este problema, mejorando el sistema actual con el diseño de un nuevo sistema de agua de enfriamiento en los que se considerará la selección de una torre de enfriamiento, el rediseño de la red de tubería de distribución de agua y un sistema de tratamiento de agua para la correcta operación de las maquinas de producción.

Con la solución propuesta a la planta se espera aumentar la producción, reduciendo los tiempos muertos por ajustes a los equipos para evitar deformaciones en los conductores eléctricos y que además disminuirán los costos de operación y de mantenimiento de las maquinas de producción con la eliminación de las pérdidas de material.

Al terminar de escribir la presente tesis, el proyecto se encuentra en fase de aprobación.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIV
ANTECEDENTES.....	1
CAPÍTULO 1	
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción del proceso de producción.....	3
1.2 Características generales de la línea de productos terminados.....	8
1.3 Descripción del sistema de agua de enfriamiento.....	10
1.4 Definición del problema.....	16
CAPÍTULO 2	
2. ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO.....	22
2.1 Red de distribución del agua de enfriamiento.....	23

2.2 Reposición y calidad del agua de enfriamiento.....	27
2.3 Capacidad de enfriamiento actual.....	32

### CAPÍTULO 3

3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	42
3.1 Modificación de la red de distribución del agua de enfriamiento.....	43
3.2 Aumentar la capacidad de enfriamiento.....	44
3.3 Selección de un sistema de tratamiento de agua.....	45

### CAPÍTULO 4

4. REINGENIERÍA DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.....	48
4.1 Requerimientos de caudal y temperatura del agua de enfriamiento...50	
4.2 Reingeniería de la red de distribución del agua de enfriamiento.....	57
4.3 Dimensionamiento y selección de la Torre de Enfriamiento.....	88
4.4 Selección del sistema de bombeo y tratamiento de agua.....	96

### CAPÍTULO 5

5. EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	113
5.1 Cronograma de instalación de los equipos.....	114
5.2 Costo de instalación del sistema.....	121
5.3 Análisis Económico.....	127

CAPÍTULO 6:

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....131

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

## ABREVIATURAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
AC	Corriente alterna
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno
BTU	Unidad térmica británica
CANP <sub>D</sub>	Carga de aspiración neta positiva disponible
CANP <sub>R</sub>	Carga de aspiración neta positiva requerida
C <sub>P</sub>	Calor específico a presión constante
°C	Grados centígrados
Conc.	Concéntrica
D <sub>i</sub>	Diámetro interno
Ext.	Extrusora
°F	Grados Fahrenheit
ft.	Pies
GPM	Galones por minuto
Gal.	Galones
Galv.	Galvanizado
gr.	Granos
HP	Caballo de fuerza
H <sub>es</sub>	Altura estática de succión
H <sub>ed</sub>	Altura estática de descarga
H <sub>et</sub>	Altura estática total
HH	Hora-Hombre
HDPE	Polietileno de alta densidad
INEN	Instituto nacional ecuatoriano de normalización
I.	Intermedia
Iny.	Inyectoras
ISO	International Standards Organization
Kg	Kilogramo
Km.	Kilómetro
K	Grados Kelvin
Kwh	Kilovatios por hora
LDPE	Polietileno de baja densidad

Lt	Longitud total
L <sub>eq</sub>	Longitud equivalente
L	Longitud
Lb.	Libra
Max.	Máximo
Min.	Minuto
mm.	Milímetro
mt	Metro
mt <sup>2</sup>	Metro cuadrado
mt <sup>3</sup>	Metro cúbico
maq.	Maquina
mg	Miligramo
M	Monoblock
NEMA	Nacional Electrical Manufacturers Association
NTU	Unidad Nefelométrica de turbiedad
PET	Tereftalato de poliestireno
PSIG	Libras por pulgada cuadrada manométrica
PVC	Cloruro de polivinil
p.p.m.	Partes por millón
RPM	Revoluciones por minuto
Red.	Reducción
Seg.	Segundo
SDT	Sólidos totales disueltos
SCH	Cédula
Sist.	Sistema
TR	Tonelada de refrigeración
TE	Torre de enfriamiento
Ton.	Tonelada
Tref. F.	Trefiladora Fina
T <sub>wb</sub>	Temperatura de bulbo húmedo
USD	Dólares
V	Voltios

## SIMBOLOGIA

Q	Calor
Qt	Caudal total
$\Delta T$	Diferencia de temperatura
J	Joule
W	Watt
A	Área
$h_f$	Pérdidas por fricción en la tubería
Pa	Pascales
$\rho$	Densidad
$\mu$	Viscosidad dinámica
g	Gravedad
$\nu$	Viscosidad cinemática
$\emptyset$	Diámetro
Re	Número de Reynolds
e/D	Rugosidad relativa
f	Fricción
$\gamma$	Gravedad específica
$\Delta P$	Caída de presión
$P_{atm}$	Presión atmosférica
$P_v$	Presión de vapor
$V_s$	Velocidad de succión
V	Velocidad del agua
$\alpha$	Coefficiente de velocidad
P	Presión
$h_b$	Cabezal de la bomba
z	Altura estática
m	Flujo másico
N	Newton
P	Presión
h	Altura del agua

## INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Planta de producción.....	5
Figura 1.2	Proceso de producción.....	6
Figura 1.3	Extensiones eléctricas.....	8
Figura 1.4	Cisterna de enfriamiento.....	10
Figura 1.5	Esquema del sistema de agua de enfriamiento.....	11
Figura 1.6	Pozo de agua subterránea.....	15
Figura 1.7	Crecimiento de la demanda de caudal.....	16
Figura 1.8	Pozo de conexión de tuberías de retorno subterráneas	17
Figura 1.9	Interior de la cisterna de enfriamiento.....	18
Figura 1.10	Carrete de madera.....	21
Figura 2.1	Red de distribución principal de agua de enfriamiento..	23
Figura 2.2	Intercambiadores de calor (Trefiladora J21).....	27
Figura 2.3	Reposición del agua del pozo.....	28
Figura 2.4	Sistema de tuberías subterráneas de retorno.....	29
Figura 2.5	Desfogue de agua al exterior de la planta.....	30
Figura 2.6	Relación de concentración vs. límites del INEN.....	32
Figura 2.7	Temperatura del agua de enfriamiento (Ext. 90).....	33
Figura 2.8	Temperatura del agua de enfriamiento (Ext. 120).....	34
Figura 2.9	Temperatura del agua de enfriamiento (Ext. 75).....	34
Figura 2.10	Temperatura del agua de enfriamiento (Ext. 95).....	35
Figura 2.11	Temperatura del agua de enfriamiento (Inyectoras).....	35
Figura 2.12	Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. F. H20 A)	36
Figura 2.13	Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. F. H20 B)	36
Figura 2.14	Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. F. H20 C)	37
Figura 2.15	Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. J21).....	37
Figura 2.16	Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. M.).....	38
Figura 2.17	Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. I.).....	38
Figura 2.18	Energía del sistema de agua de enfriamiento.....	41
Figura 3.1	Torre de enfriamiento de contacto directo e indirecto...	45
Figura 4.1	Diagrama del nuevo sistema de agua de enfriamiento..	49
Figura 4.2	Comparación de requerimientos (extrusoras).....	55
Figura 4.3	Comparación de requerimientos (Inyectoras).....	55
Figura 4.4	Comparación de requerimientos (Trefiladoras).....	56

Figura 4.5	Distribución de tuberías (Trefiladoras Finas H20).....	61
Figura 4.6	Succión de la bomba (Trefiladoras finas H20).....	68
Figura 4.7	Distribución de tuberías (Extrusoras).....	70
Figura 4.8	Distribución de tuberías (Trefiladora J21).....	75
Figura 4.9	Succión de la bomba (Trefiladora J21).....	80
Figura 4.10	Distribución de tuberías (Tref. I. y M.).....	82
Figura 4.11	Distribución de tuberías (Inyectoras).....	85
Figura 4.12	Perfil de carga promedio del sistema.....	93
Figura 4.13	Porcentaje de carga del sistema.....	93
Figura 4.14	Operación de las torres de enfriamiento.....	95
Figura 4.15	Alternativas de operación del distribuidor de agua.....	97
Figura 4.16	Succión de la bomba #1 (Torres de enfriamiento #1)...	102
Figura 4.17	Succión de la bomba #2 (Torres de enfriamiento #2)...	105
Figura 4.18	Conexión en serie de los ablandadores de agua.....	112
Figura 5.1	Reducción del consumo de energía eléctrica.....	129

## INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Distribución del personal que labora en planta.....	3
Tabla 2	Normas de elaboración de los productos terminados.....	9
Tabla 3	Capacidad de las cisternas.....	12
Tabla 4	Clasificación de distribución de agua de enfriamiento.....	13
Tabla 5	Características de las bombas del sistema actual.....	14
Tabla 6	Distribución de tuberías en producción.....	23
Tabla 7	Caudales de las maquinas de producción.....	25
Tabla 8	Limites permisibles de calidad del agua.....	31
Tabla 9	Energía del sistema de agua de enfriamiento.....	40
Tabla 10	Efectos de las concentraciones iónicas.....	46
Tabla 11	Clasificación de la dureza del agua.....	47
Tabla 12	Requerimientos de enfriamiento en extrusoras.....	51
Tabla 13	Requerimientos de enfriamiento en inyectoras.....	51
Tabla 14	Requerimientos de caudal y temperatura para extrusoras.....	52
Tabla 15	Requerimientos de caudal y temperatura de inyectoras....	53
Tabla 16	Requerimientos de caudal y temperatura de trefiladoras...	53
Tabla 17	Recomendaciones de diseño de tuberías.....	58
Tabla 18	Longitudes equivalentes por accesorios (Tref. F. H20).....	62
Tabla 19	Longitud total por ramal (Tref. F. H20).....	63
Tabla 20	Resultados por ramal de tubería (Tref. F. H20).....	63
Tabla 21	Características de la bomba (2½x2½x9½ 1150 RPM).....	65
Tabla 22	Longitud equivalente por accesorios (succión Tref. F H20)	67
Tabla 23	Longitud equivalente por accesorios (extrusoras).....	71
Tabla 24	Longitud total por ramal (extrusoras).....	72
Tabla 25	Resultados por ramal de tubería (extrusoras).....	73
Tabla 26	Longitud equivalente por accesorios (Trefiladora J21).....	76
Tabla 27	Longitud total por ramal (Trefiladora J21).....	76
Tabla 28	Resultados por ramal de tubería (Trefiladora J21).....	77
Tabla 29	Características de la bomba (2x2x7 1150 RPM).....	79
Tabla 30	Longitudes equivalentes por accesorios (Tref. I. y M.).....	82
Tabla 31	Longitud total por ramal (Tref. I. y M.).....	82
Tabla 32	Resultados por ramal de tubería (Tref. I. y M.).....	83

Tabla 33	Longitudes equivalentes por accesorios (Inyectoras).....	85
Tabla 34	Longitud total por ramal (Inyectoras).....	86
Tabla 35	Resultados por ramal de tubería (Inyectoras).....	87
Tabla 36	Caudal de agua de enfriamiento requerido en la planta.....	90
Tabla 37	Toneladas de refrigeración requerida para perfil de carga.	92
Tabla 38	Características de la torre de enfriamiento seleccionada...	95
Tabla 39	Longitud equivalente por accesorios (Bomba #1).....	98
Tabla 40	Longitud equivalente por accesorios (Bomba #2).....	99
Tabla 41	Longitud total de tubería (Torres de enfriamiento).....	99
Tabla 42	Resultados por ramal (Torres de enfriamiento).....	100
Tabla 43	Características de la bomba (4AC Ø7" 1750 RPM).....	100
Tabla 44	Características de la bomba (4AC Ø6½" 1750 RPM).....	103
Tabla 45	Características del ablandador de agua (PV – 90A).....	110
Tabla 46	Características del ablandador de agua (PV – 120 A).....	110
Tabla 47	Especificaciones de operación de ablandadores.....	110
Tabla 48	Estándares de montaje.....	114
Tabla 49	Grupos de trabajo.....	115
Tabla 50	Pesos de los materiales y equipos (Torre de enfriamiento)	115
Tabla 51	Pesos de los materiales y equipos (reposición de agua)...	118
Tabla 52	Pesos de los materiales (extrusoras).....	118
Tabla 53	Pesos de los materiales y equipos (Tref. Finas H20).....	119
Tabla 54	Peso de los materiales y equipos (Trefiladora J21).....	119
Tabla 55	Cronograma de instalación.....	120
Tabla 56	Costo de equipos.....	121
Tabla 57	Costo de materiales (tuberías).....	122
Tabla 58	Costo de materiales (soporteria).....	122
Tabla 59	Costo de materiales (accesorios).....	123
Tabla 60	Desglose de los beneficios de ley del personal.....	124
Tabla 61	Costo total por mano de obra.....	124
Tabla 62	Costo del transporte.....	125
Tabla 63	Costo de alquiler de equipos.....	125
Tabla 64	Costos directos.....	125
Tabla 65	Costos indirectos.....	126
Tabla 66	Costo del agua potable.....	127
Tabla 67	Cálculo del ahorro de agua potable.....	128
Tabla 68	Consumo promedio de energía eléctrica (Sist. Actual).....	128
Tabla 69	Consumo promedio de energía eléctrica (Sist. Futuro).....	129





## INDICE DE PLANOS

Plano 1	Áreas de producción de la planta (INCABLE S.A.)
Plano 2	Descripción del sistema de agua de enfriamiento
Plano 3	Posición de las torres de enfriamiento (140 TR)
Plano 4	Sistema de bombeo de las torres de enfriamiento
Plano 5	Conexión de bombas (Torres de enfriamiento)
Plano 6	Sistema de ablandamiento y reposición de agua
Plano 7	Ablandadores de agua en serie
Plano 8	Forma de los soportes de tuberías

## ANTECEDENTES

INCABLE S.A. Industria Ecuatoriana de cables, inicio sus operaciones en Ecuador en 1983 con la fabricación y venta de conductores eléctricos de cobre y aluminio, desnudos y aislados con PVC. Luego de 1991, comenzó también con la fabricación de extensiones eléctricas, con la aprobación y supervisión de Underwriters Laboratories.

Debido al crecimiento de la empresa fue necesario un espacio más amplio, por lo cual la compañía en el año de 1988 se traslado a la ciudadela industrial INMACONSA. Hoy en día INCABLE exporta enchufes para cocinas, secadoras y todo tipo de extensiones en general para clientes en Estados Unidos, Sudamérica y Asia.

Por tal motivo la producción ha venido creciendo a lo largo de los años, lo que llevo al incremento de líneas de producción, pero sin aumentar la capacidad del sistema de agua de enfriamiento de las maquinas, lo que llevo al colapso del sistema, generando problemas en la calidad del producto, pérdidas de material y altas temperaturas de operación en la maquinaria.

Para lo cual el presente trabajo realizará una reingeniería del sistema de agua de enfriamiento en la planta.

# CAPÍTULO 1

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe el proceso para producir los conductores de cobre y aluminio y extensiones eléctricas que abastecen el mercado local e internacional, además se describirá algunas características generales de los productos terminados.

Como parte fundamental del presente capítulo se describirá todos los elementos del sistema de agua de enfriamiento actual de la planta para tener una idea clara del sistema y luego identificar los problemas existentes en la planta a causa del sistema de agua de enfriamiento.

Industria Ecuatoriana de Cables, INCABLE S.A. se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil, en el parque industrial Inmaconsa Km. 10½ Vía a Daule.

INCABLE posee una infraestructura que ocupa alrededor de 6.380 m<sup>2</sup> de construcción y 20.000 m<sup>2</sup> en totalidad de terreno.

## 1.1 Descripción del Proceso de Producción

El proceso de producción de cables y extensiones se lo realiza en dos turnos rotativos de 12 horas cada una y cuenta con 83 personas por turno que laboran en planta, en un galpón de dimensiones: 100 mt. X 40 mt.

En la tabla 1 se describe la distribución del personal que trabaja en planta.

Área	Personas que laboran en planta
Cables	29
Control de Calidad	3
Mantenimiento	8
Extensiones	38
PVC	5
<b>TOTAL</b>	<b>83</b>

Tabla 1. Distribución del personal que labora en planta

La producción en la planta se conforma básicamente en dos partes:

### **Cables**

- ❖ Área de trefiladoras.
- ❖ Área de encordonadoras, cableadoras y reunidora.
- ❖ Área de extrusoras.

### **Extensiones**

- ❖ Área de medición.
- ❖ Área de corte.
- ❖ Área de aplicación.

- ❖ Área de inyección.
- ❖ Área de Test.

La materia prima para el proceso de producción llega a la planta en bobinas de cobre y de aluminio provenientes de Chile y Perú, estas bobinas tienen un área específica para su almacenamiento. Luego, dependiendo del tipo de producto a elaborar ya sea conductores de cobre o de aluminio pasa por el área de trefilación, en el cual es reducido el diámetro original de la bobina en unas trefiladoras que se utilizan para grandes desbastes para que después pase por unas trefiladoras finas para reducir el diámetro del alambre al requerido por las normas de elaboración de conductores eléctricos.

Después, este alambre pasa por un proceso de cableado si se elaboran cables para líneas de transmisión de corrientes aéreas de fuerza o un proceso de encordonado si se elaboran cables para tableros de control, sistemas de alumbrado eléctrico, etc., en fin, en lugares donde se requiere gran flexibilidad en el cable. Y si se elaboran cables concéntricos de varios conductores pasa por el proceso de la reunidora, ya sea para interconexión de aparatos de protección, bandejas en forma aérea o enterrados directamente donde la temperatura del conductor no exceda los 60°C y la tensión nominal 600 V AC.

Luego que el proceso pase por estas áreas, los cables o alambres salen en carretes de madera para pasar al proceso de extrusión en donde a los conductores se les agregan el aislante plástico PVC 60 grados en colores blanco, negro, rojo, amarillo, verde o azul y que pasan por la tina de enfriamiento para su embalaje en carretes de madera o en rollos de 100 metros. En esta área existen 4 líneas de extrusión.

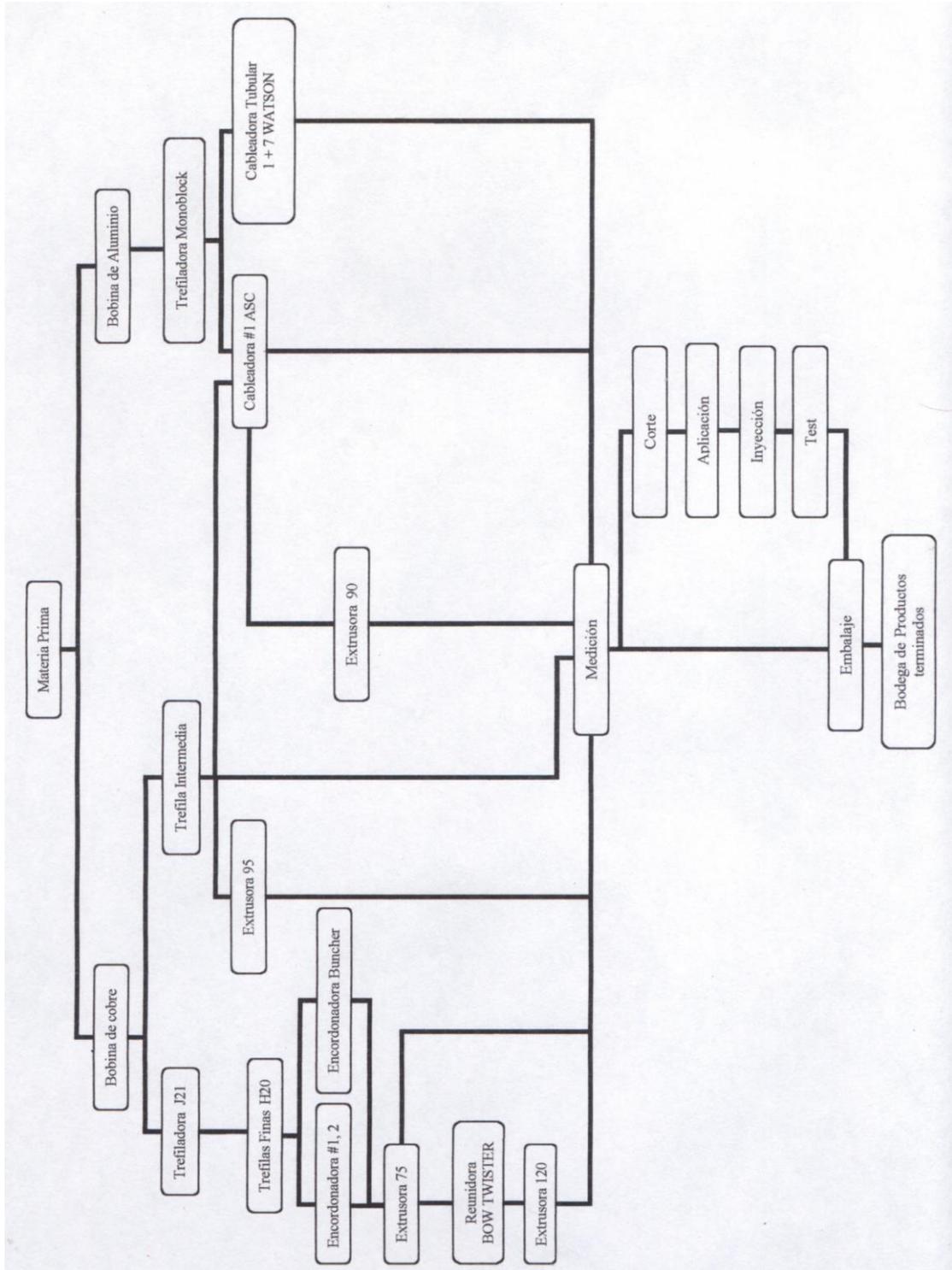
En la figura 1.1 se muestra una vista de la planta de producción.



Figura 1.1 Planta de producción

En la figura 1.2 se presenta el proceso de producción de la planta.

Figura 1.2 Proceso de Producción



Para la elaboración de las extensiones eléctricas, simplemente después de la extrusión se envía los conductores eléctricos al área de medición en donde se contabiliza la cantidad de metros de cable requerido para el tipo de extensión a elaborar, luego pasa al área de corte en donde maquinas de aire comprimido proceden a cortar a la medida requerida para la extensión a elaborar, luego pasa al área de aplicación en donde a los conductores eléctricos se les aplica los bornes o terminales para los enchufes y toma corriente de las extensiones eléctricas.

Una vez colocados estos terminales, pasan al área de inyección que cuenta con 10 maquinas inyectoras en donde una variedad de moldes dan forma a estos enchufes dependiendo del tipo de extensión a elaborar para finalmente pasar al área de test, en donde se realizan pruebas de amperaje de las extensiones.

El plano #1 (Áreas de producción en la planta) muestra la distribución de las áreas de la planta.

## 1.2 Características generales de la línea de productos terminados

La línea de productos que elabora INCABLE S.A. va desde extensiones, conductores de cobre, conductores de aluminio, conductores para instalación de construcción y conductores para aparatos electrodomésticos y equipos industriales.

En la tabla 2 se puede encontrar todas las normas de fabricación a que se somete para cada tipo de conductor, sea de cobre o aluminio, además de las extensiones eléctricas, los que obedecen a las rígidas normas de Underwriters Laboratories Inc. De Estados Unidos.

Además de esto, el control de calidad sigue las normas ISO 9000.

La figura 1.3 muestra algunos productos de extensiones eléctricas.



Figura 1.3 Extensiones eléctricas

Así los productos terminados son sometidos a los siguientes ensayos:

- ❖ Resistencia eléctrica de corriente continua.
- ❖ Diámetro y espesor.
- ❖ Ruptura y alargamiento.
- ❖ Tensión.
- ❖ Resistencia de aislamiento.

Material	Normas
Alambre de cobre desnudo	ASTM B2, B3, B8, NEMA WC5, INEN
Alambre de cobre aislado - incoplast TW 600 V	ASTM B3, B8, UL 83, NEMA WC5, INEN
Cable de cobre desnudo	ASTM B2, B3, B8, NEMA WC5, INEN
Cable incoplast TW 600 V	ASTM B3, B8, UL83 NEMA WC5, INEN
Cable incavinil TTU 2000 V	ASTM B3, B8, NEMA WC5, INEN
Cable incaflex sencillo 600 V	ASTM B3, B172, B174, UL62 INEN
Cable incasold	ASTM B3, B174, INEN
Cable incaflex paralelo 600 V	ASTM B3, B172, B174, UL62, INEN
Cables incaplomo 600 V	ASTM B3, B8, UL719, UL493, INEN
Cables para antena de TV	ASTM B3, B174, INEN
Cable de parlante	ASTM B3, B174, INEN
Cable de Bujía	ASTM B3, B174, INEN
Cables telefónicos	ERICSON, INEN, IETEL
Cables concéntricos	ASTM B3, B172, B174, NEMA WC5, INEN
Cables de aluminio desnudo ASC	ASTM B231, INEN
Cables de aleación de aluminio 5005	ASTM B397, INEN
Cables de aluminio desnudo ACSR	ASTM B232, INEN
Cables de aluminio aislado TW 600 V	ASTM B231, UL83, INEN
Cables de aluminio múltiplex	ASTM B231, B232, B397, NEMA WC5, INEN

Tabla 2. Normas de elaboración de los productos terminados

En el apéndice A se puede observar las especificaciones y características principales de los productos terminados como calibre, amperaje, aplicación, embalaje y color.

### 1.3 Descripción del sistema de agua de enfriamiento

Desde los inicios de la empresa, el gerente general implementó una idea que había visto en una industria de cables en Brasil, que consistía sencillamente en reemplazar una torre de enfriamiento por la construcción de una cisterna de enfriamiento con un diseño de malla de tuberías en columnas con perforaciones de 2 mm. de diámetro espaciadas entre si, a lo largo de las tuberías verticales para que el agua salga lo más pulverizada debido a la presión y caiga sobre una plataforma de concreto en la parte posterior y esta al fondo de la cisterna para producir una disminución de la temperatura del agua como se muestra en la figura 1.4.



Figura 1.4 Cisterna de Enfriamiento

El sistema de agua de enfriamiento de la planta consiste en:

- ❖ 3 Cisternas.
- ❖ Red de distribución de agua.
- ❖ Equipos auxiliares (bombas).
- ❖ Reposición de agua.

En la figura 1.5 se muestra un gráfico explicativo del sistema de agua de enfriamiento de la empresa y el plano #2 (Descripción del sistema de agua de enfriamiento) muestra una descripción más detallada del sistema.

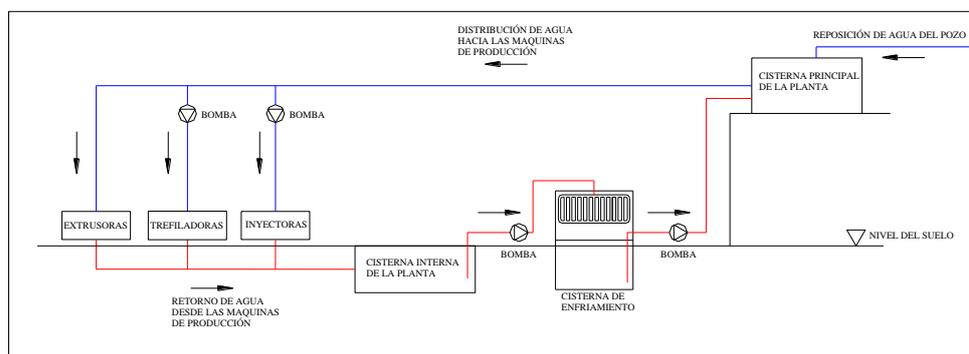


Figura 1.5 Esquema del sistema de agua de enfriamiento

#### ❖ Cisternas del Sistema de agua de enfriamiento

El Sistema de agua de enfriamiento cuenta con tres cisternas que forman parte fundamental de este sistema, la tabla 3 muestra las capacidades de las cisternas.

<b>Cisternas</b>	<b>Capacidad (mt<sup>3</sup>)</b>
Cisterna Principal	42
Cisterna Interna de la Planta	15,36
Cisterna de Enfriamiento	15,65

Tabla 3. Capacidad de las Cisternas

Cisterna Principal:

Esta cisterna se encuentra ubicada en el exterior de la planta y es la que tiene la mayor capacidad. La Cisterna Principal es la que distribuye el agua de enfriamiento a la planta y que debido a la altura a la cual esta ubicada, varias tuberías de distribución de agua aprovechan la gravedad para cumplir su función.

Cisterna Interna de la Planta:

Como su nombre lo dice, esta cisterna se encuentra ubicada en el interior de la planta y es la cisterna a la cual llega el agua caliente proveniente de las maquinas de producción y esta a su vez es enviada a la cisterna de enfriamiento.

Cisterna de Enfriamiento:

Esta cisterna es la que ayuda a disminuir la temperatura del agua proveniente de la cisterna interna y luego es enviada a la cisterna principal para su distribución.

### ❖ Red de distribución de agua

En la planta, no todas las maquinas necesitan agua para su enfriamiento como las maquinas encordonadoras, cableadoras y reunidora. El sistema de agua de enfriamiento alimenta a:

- ❖ 4 Líneas de Extrusoras
- ❖ 10 maquinas Inyectoras
- ❖ 6 Trefiladoras

El sistema de agua de enfriamiento tiene una red de distribución de tuberías que aprovecha la gravedad para distribuir agua a varias maquinas de producción y otros ramales utilizan bombas para su distribución. En la tabla 4 se describe esta clasificación:

Ítem	Maquinaria de Producción	Tipo de Distribución
1	Extrusora 90	Gravedad
2	Extrusora 120	Gravedad
3	Extrusora 75	Gravedad
4	Extrusora 95	Gravedad
5	Trefiladora Fina H20 A	Bomba
6	Trefiladora Fina H20 B	Bomba
7	Trefiladora Fina H20 C	Bomba
8	Trefiladora J21	Bomba
9	Trefiladora Intermedia	Gravedad
10	Trefiladora Monoblock	Gravedad
11	Inyectora Newbury 1	Bomba
12	Inyectora Newbury 2	Bomba
13	Inyectora Newbury 3	Bomba
14	Inyectora Newbury 4	Bomba
15	Inyectora Newbury 5	Bomba
16	Inyectora Autojectors 6	Bomba
17	Inyectora Autojectors 7	Bomba
18	Inyectora Autojectors 8	Bomba
19	Inyectora Autojectors 9	Bomba
20	Inyectora Autojectors 10	Bomba

Tabla 4. Clasificación de distribución de agua de enfriamiento

En total son 20 maquinas de producción que necesitan agua de enfriamiento, de las cuales las 10 Inyectoras están conectadas a dos bombas en paralelo, al igual que las tres trefiladoras finas H20 también están conectadas con dos bombas en paralelo, la trefiladora J21 posee una sola bomba y el resto como las extrusoras y las otras trefiladoras utilizan la gravedad para su distribución.

#### ❖ Equipos auxiliares (bombas)

En la tabla 5 se describe las características de operación de las bombas del sistema de agua de enfriamiento.

Características de las bombas	Trefiladora J21	Trefiladoras Finas H20	Inyectoras	Cisterna de Enfriamiento	Cisterna Principal
<b>Tipo de bombas</b>	Centrífuga	Centrífuga	Centrífuga	Centrífuga	Centrífuga
<b>Cantidad de bombas</b>	1	2	2	1	1
<b>Conexión de bombas</b>	simple	paralelo	paralelo	simple	simple
<b>Potencia (KW)</b>	7,4	1,11	0,74	22,27	22,27
<b>Velocidad (RPM)</b>	1765	3500	3500	3500	1765
<b>Ø Impulsor (mm.)</b>	228	100	100	203	343
<b>Ø succión (mm.)</b>	63	32	40	63	75
<b>Ø descarga (mm.)</b>	63	32	40	63	63

Tabla 5. Características de las bombas del sistema actual

Tanto las extrusoras como las trefiladoras monoblock e intermedia no se describen en esta tabla, ya que utilizan la gravedad para su distribución.

### ❖ Reposición de agua

El agua de enfriamiento de la planta es obtenida desde un pozo que esta ubicada en el jardín de la empresa a una profundidad aproximada de 36 a 40 metros, este pozo tiene una bomba de 0,00157  $\text{m}^3/\text{seg}$  (25 GPM) acoplada a un motor eléctrico de 1,49KW (2HP) ubicada a 30 metros de profundidad con tubería PVC de diámetro 32 mm. asegurada con cabo y conectada con electrodos de nivel, en la figura 1.6 se muestra la superficie desde donde se obtiene el agua del pozo.



Figura 1.6 Pozo de agua subterránea

Esta agua del pozo es bombeada a la cisterna principal para reposición de la misma con sensores de nivel que hace que se prenda la bomba del pozo o se apague para mantener el nivel de agua en la cisterna principal, aunque el sistema de agua de

enfriamiento es un sistema cerrado, los problemas generados por rebose de agua que se detallarán en el capítulo 2, llevaron al personal de mantenimiento a colocar una tubería que desfogue agua hacia el exterior de la planta para evitar una inundación de la planta.

#### 1.4 Definición del problema

Desde los inicios de la empresa, se diseñó el sistema de agua de enfriamiento para las maquinas instaladas en el momento desde que inició sus operaciones, pero debido al crecimiento de la demanda local y a la exportación de los enchufes se requirió el incremento de las maquinas de producción, aunque se realizó de manera desordenada, esto ha llevado a que el sistema de agua de enfriamiento se sobrecargue como se muestra en la figura 1.7.

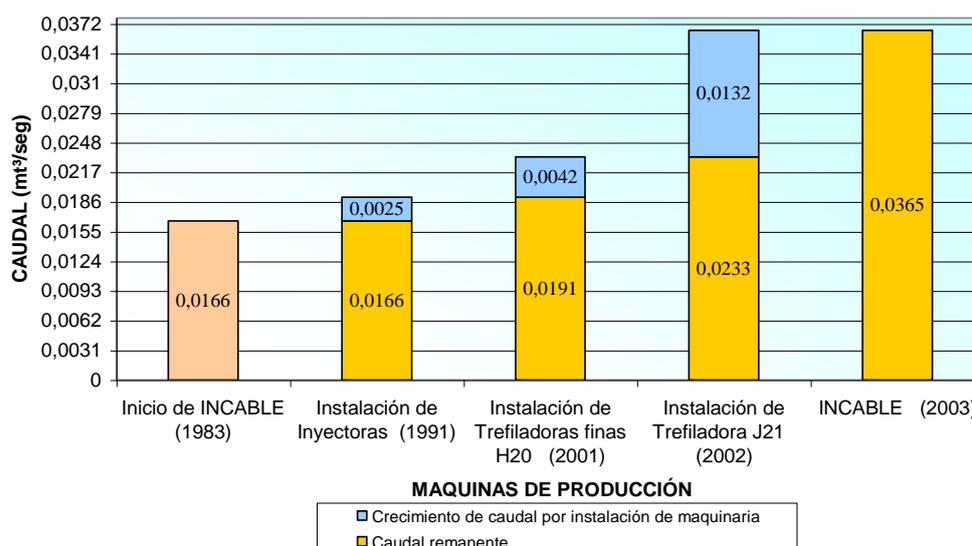


Figura 1.7 Crecimiento de la demanda de caudal

Con el crecimiento de las maquinas de producción, también creció la demanda de caudal y la capacidad de enfriamiento requerido por el sistema de agua. Pero en esta planta no se realizaron los cambios necesarios y hoy en día presentan varios problemas por no ejecutar dichos cambios.

El aumento de caudal que retorna desde las maquinas a la cisterna interna de la planta hace que las bombas instaladas ya no abastezca la demanda de caudal haciendo que las bombas operen continuamente sin descansar y el nivel de agua en la cisterna interna empieza a subir provocando que el agua se rebose por los pozos de conexión de tuberías que se encuentran ubicados en la superficie de la planta. Estos pozos sirven para conectar las tuberías de retorno de agua que pasa por debajo del suelo.



Figura 1.8 Pozo de conexión de tubería de retorno subterránea

Estos problemas que se presentaron en la planta hicieron que el personal de mantenimiento actuará de inmediato agrandando las perforaciones de las tuberías en la cisterna de enfriamiento de 2 a 5 mm. y luego a 10 mm. para aumentar el caudal de salida de agua a la cisterna de enfriamiento pero ellos no consiguieron resolver el problema ya que el agua seguía subiendo de nivel en la cisterna interna, para esto conectaron dos tuberías PVC de 152 mm. desde la cisterna interna hasta la cisterna de enfriamiento para ayudar a bajar el nivel de agua como se muestra en la figura 1.9.



Figura 1.9 Interior de la cisterna de enfriamiento

Todas estas modificaciones realizadas por el personal de mantenimiento causaron que disminuya la capacidad de enfriamiento de la cisterna casi en su totalidad debido a que estas

dos tuberías de  $\varnothing$  152 mm. envían agua caliente directamente al depósito de agua de la cisterna de enfriamiento y con el agrandamiento de las perforaciones en la tubería a 10 mm. el agua ya no salía pulverizada por que perdió presión y por ende perdió su capacidad de enfriamiento.

Además que sobrecargan a la bomba que envía el agua desde la cisterna de enfriamiento a la cisterna principal ya que se aumentaron estas dos tuberías de 152 mm. que aumentan el caudal que llega a la cisterna de enfriamiento y la bomba no abastece el caudal requerido para enviar el agua a la cisterna principal, desde aquel entonces tienen que apagar la bomba del agua de enfriamiento de la trefiladora J21 para no sobrecargar de agua a la cisterna interna de la planta y provocar un rebose de agua en la planta, pero debido a la posición de la cisterna principal el agua llega por gravedad a la trefiladora J21 cuando la bomba esta apagada aunque a un menor caudal.

Otro de los problemas que se sospecha en el sistema de agua de enfriamiento es la calidad del agua que circula en la planta, ya que nunca se realizó un análisis del agua del pozo desde el momento de su explotación para hacerlo circular como agua de enfriamiento de la planta.

Esto hizo imaginar que el agua del pozo tiene una alta dureza, ya que se observó en varios puntos del sistema la tubería corroída y picada en partes donde la superficie de la tubería tiene contacto con el agua, como la tubería que llega a la cisterna principal y la malla de tuberías de la cisterna de enfriamiento. Tomando en cuenta que el agua del pozo empezó a circular como agua de enfriamiento a la planta desde diciembre del 2002 para reducir gastos de consumo de agua potable en la planta, lo que indica que en 6 meses ya presenta una alta corrosión en la tubería.

Todos estos problemas son producto del crecimiento desordenado de las maquinas de producción y al poco mantenimiento de la cisterna de enfriamiento que ha afectado a la producción de los cables por los tiempos muertos generados y a los rechazos del control de calidad de las muestras tomadas de producción por la alta temperatura del agua que circula en la planta. Esto produce que el PVC de los cables se deforme ya que no se enfría lo suficiente haciendo que no salga concéntrico y se aplaste en el momento de su embalaje en los carretes de madera como se muestra en la figura 1.10.

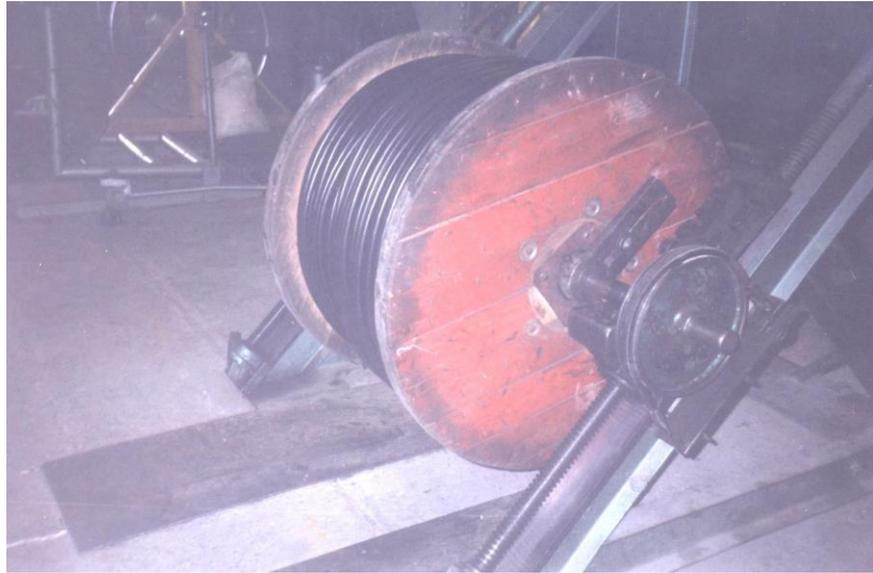


Figura 1.10 Carrete de madera

Todos estos problemas que se han generado en la producción de cables influyen mucho en los costos de la planta, ya que esto aumenta las pérdidas de material como cobre, aluminio y PVC principalmente tanto que han superado los límites proyectados por la empresa al igual que esto genera tiempo muertos en la producción y costos de mantenimiento sumamente altos como se puede observar en los reportes de producción de control de chatarra, tiempos muertos y costos de mantenimiento en el apéndice B.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO**

Los problemas de producción son la consecuencia del problema del sistema de agua de enfriamiento de la planta, básicamente por la instalación no planificada de las maquinas de producción. En este capítulo se analizará los datos obtenidos en el sistema de enfriamiento actual como la toma de datos de caudal de agua en las maquinarias, lectura de la temperatura del agua de cada maquina por cada hora y el análisis físico, químico y fisiológico del agua del pozo para determinar su calidad. Con estos datos del sistema de agua de enfriamiento se podrá determinar las causas del problema y presentar las alternativas de solución más idóneas.

## 2.1. Red de distribución del agua de enfriamiento

La distribución del agua de enfriamiento a la planta parte desde la cisterna principal con tres ramales principales como se muestra en la figura 2.1 y otro ramal que parte desde un costado de la cisterna principal para alimentar solamente a la Trefiladora J21.

Tramo	Ø tubería	Material de tubería	Distribución
1	75 mm.	PVC	Trefiladora Intermedia, Monoblock y Extrusoras
2	32 mm.	acero galv.	Trefiladoras Finas H20
3	40 mm.	acero galv.	Inyectoras
4	63 mm.	acero galv.	Trefiladora J21

Tabla 6. Distribución de tuberías en producción



Figura 2.1 Red de Distribución Principal del agua de enfriamiento

Primero se procedió a determinar el caudal de agua de cada maquina. Debido a que no se contaba con equipos de medición de caudal, se procedió a determinarlo con la ayuda de un cronómetro y un balde plástico de 6,9 galones de capacidad.

El procedimiento a seguir, fue tomar el tiempo de llenado del balde plástico a la salida de las maquinas para determinar el caudal. Por lo general, esta actividad se realizó en los pozos de conexión de las tuberías subterráneas ya que el acceso era más fácil, pero también se lo realizó en la cisterna interna de la planta.

Por otro lado en las inyectoras la toma de datos fue diferente, debido a que no se tenía acceso al retorno de agua de cada inyectora individualmente, sino que, se tenía acceso a las salidas de la líneas completas de las 5 inyectoras Newbury y las 5 inyectoras Autojectors, estas dos líneas de retorno de agua llegan al pozo de conexión de tuberías subterráneas.

A continuación se presenta en la tabla 7 el resumen de la toma de datos del caudal de las maquinas de producción que necesitan agua de enfriamiento.

<b>CAUDALES DE MAQUINARIAS DE PRODUCCIÓN (Sistema de agua de enfriamiento)</b>			
<b>MAQUINARIA</b>	<b>CAUDAL (mt<sup>3</sup>/seg)</b>		
Extrusora 90	0,0010	Alimentación por gravedad 0,0166 mt <sup>3</sup> /seg	
Tina de enfriamiento 90	0,0015		
Extrusora 120	0,0012		
Tina de enfriamiento 120	0,0015		
Extrusora 75	0,0008		
Tina de enfriamiento 75	0,0015		
Extrusora 95	0,0010		
Tina de enfriamiento 95	0,0017		
Trefiladora Intermedia	0,00329		
Trefiladora Monoblock	0,00316		
Trefiladora Fina H20 A	0,00183		Alimentación por bombas 0,019 mt <sup>3</sup> /seg
Trefiladora Fina H20 B	0,0012		
Trefiladora Fina H20 C	0,0012		
Trefiladora J21	0,0132		
5 Inyectoras Newbury	0,000785		
5 Inyectoras Autojectors	0,000785		
<b>TOTAL</b>	<b>0,0356 mt<sup>3</sup>/seg</b>		

Tabla 7. Caudales de las maquinas de producción

Los resultados obtenidos de la toma de los datos del caudal de agua de enfriamiento van ha ser comparados con los requerimientos de caudal de las maquinas de producción en el capítulo 4 para determinar si es necesario realizar cambios en la red de tuberías. Estos requerimientos de operación son obtenidos de los catálogos de las maquinas y pues tan solo por comparar, las trefiladoras finas H20 requieren 0,0028 mt<sup>3</sup>/seg (44 GPM) cada una y el caudal actual va de 0,0012 a 0,00183 mt<sup>3</sup>/seg (19 a 29 GPM) lo cual hace que la temperatura del agua de enfriamiento se eleve por la disminución del

flujo másico circulando y no retire todo el calor rechazado por la emulsión.

Aunque la trefiladora J21 trabaja con una bomba para la circulación del agua de enfriamiento, esta opera a medias, debido a que el caudal de esta bomba en operación es de 0,0132 mt<sup>3</sup>/seg (210 GPM) y esto hace que cuando opera la bomba, el caudal que llega a la cisterna interna de la planta aumenta y se eleva el nivel de agua en la cisterna, sobrecargando a la bomba que lleva el agua de la cisterna interna hacia la cisterna de enfriamiento y no alcanza a evacuar toda el agua que retorna desde la planta haciendo que la cisterna interna de la planta se rebose de agua y que los operadores paralicen sus actividades para poder evacuar esta agua que llega a todas las maquinas.

Por esta razón es que esta bomba tiene un funcionamiento intermitente. La trefiladora J21 posee dos intercambiadores de calor, uno de placas y otro de tubo y coraza ya que en total requieren 0,0041 mt<sup>3</sup>/seg (65 GPM) y no 0,0132 mt<sup>3</sup>/seg (210 GPM) de agua de enfriamiento circulando.

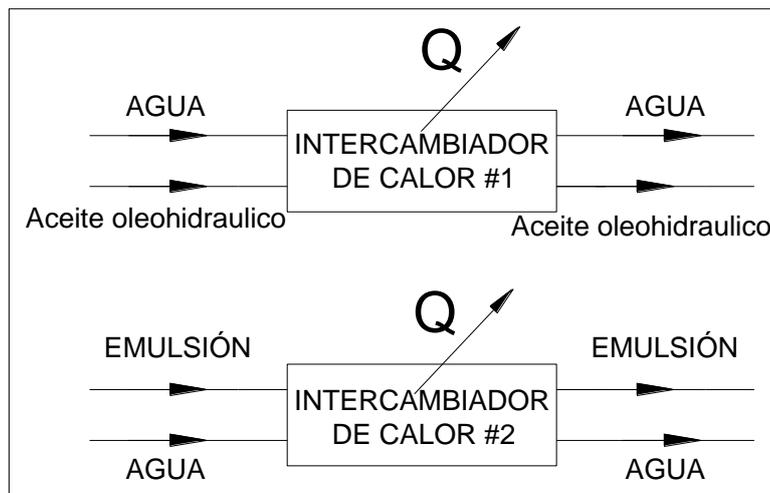


Figura 2.2 Intercambiadores de calor (Trefiladora J21)

El caudal del agua de enfriamiento de la trefiladora J21 que circula con esta bomba es muy alto y la velocidad del agua es demasiado alta y al pasar por los intercambiadores de calor no retira el calor rechazado por el proceso y la temperatura de la máquina aumenta considerablemente durante el día de trabajo.

## 2.2. Reposición y calidad del agua de enfriamiento

Al igual que las máquinas de producción y con el mismo procedimiento del cronómetro y el balde plástico, también se determinó el caudal de la bomba del agua del pozo que repone agua a la cisterna principal y se determinó que el caudal es de 0,001577  $\text{m}^3/\text{seg}$  (25 GPM). Además se llevó un control del tiempo de

reposición para determinar la cantidad de agua que repone a la cisterna de enfriamiento como se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.3 Reposición del agua del pozo

Como se observó en la figura 2.3 la reposición del agua del pozo se da aproximadamente por 13 horas diarias como promedio de varios días de llevar un control de la reposición, en el turno de la noche se piensa que repone alrededor de 3 horas promedio, información estimada por los operadores de este horario ya que en el segundo turno no trabaja la trefiladora J21, dos líneas de extrusoras y la trefiladora monoblock, lo cual disminuye el caudal de retorno hacia la cisterna interna.

El sistema de agua de enfriamiento actual fue un sistema cerrado hasta que empezaron los problemas de sobrecarga del sistema,

aumentaron maquinas de producción que utilizan agua para enfriamiento sin aumentar el numero de bomba para abastecer a la cisterna de enfriamiento, debido al incremento de la demanda de caudal el cual provocó que las bombas ya no abastezcan al sistema, esto lleva al rebose de agua en los pozos de conexión de tuberías subterránea debido a que el sistema de retorno de agua hacia la cisterna interna actúa por gravedad y al aumentar el nivel de agua en la cisterna, el sistema cumple el papel de vasos comunicantes llenándose de agua las tubería al mismo nivel, para esto el personal de mantenimiento para disminuir inundaciones en la planta, colocaron una tubería de desfogue de agua conectada desde el pozo de conexión de retorno de las extrusoras hacia el exterior de la planta, desperdiciando el agua de enfriamiento generando una excesiva reposición de agua del pozo de 73,81 m<sup>3</sup> por día como se puede observar en la figura 2.4.

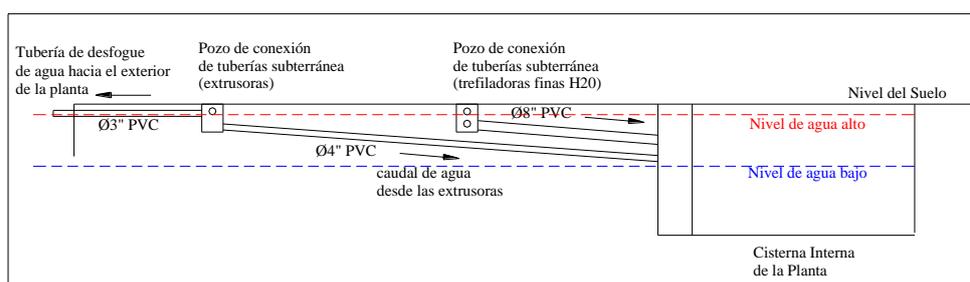


Figura 2.4 Sistema de tuberías subterráneas de retorno

En la figura 2.5 se muestra el lugar de desfogue del agua de enfriamiento de la planta.



Figura 2.5 Desfogue de agua al exterior de la planta

### **Calidad del agua del pozo**

Desde el momento de la explotación del pozo nunca se realizó un análisis del agua para determinar si era factible utilizarlo como agua de enfriamiento en las maquinas de producción, pero como esto eliminaba los costos de consumo de agua potable en la planta procedieron a extraer el agua del pozo de inmediato.

Para la realización de esta tesis el gerente general me autorizó a enviar una muestra del agua del pozo a un laboratorio para su respectivo análisis.

El apéndice C muestra los resultados del análisis del agua del pozo.

Es de fundamental importancia controlar la calidad de agua en circulación, no solamente para la torre de enfriamiento sino para todos los elementos integrantes del circuito, para esto se detalla los límites de los parámetros a los cuales se debe tener controlado en el agua de enfriamiento en una industria, especialmente para torres de enfriamiento. Para su control se debe mantener las siguientes condiciones:

PH	6 - 7.
Dureza Total	80 - 100 p.p.m.
Silice	< 150 p.p.m.
Sólidos totales disueltos	< 1150 p.p.m.
Turbiedad	5 NTU
Cloro residual	1 p.p.m.
Hierro	5 p.p.m.

Tabla 8. Límites permisible de calidad del agua

Estos parámetros se comparan con los resultados del análisis del agua del pozo y se determina que la dureza del agua está muy por encima de los límites establecidos para la correcta operación de las torres de enfriamiento y las máquinas de producción. También se lo puede visualizar en el gráfico 2.6 con los límites del INEN.

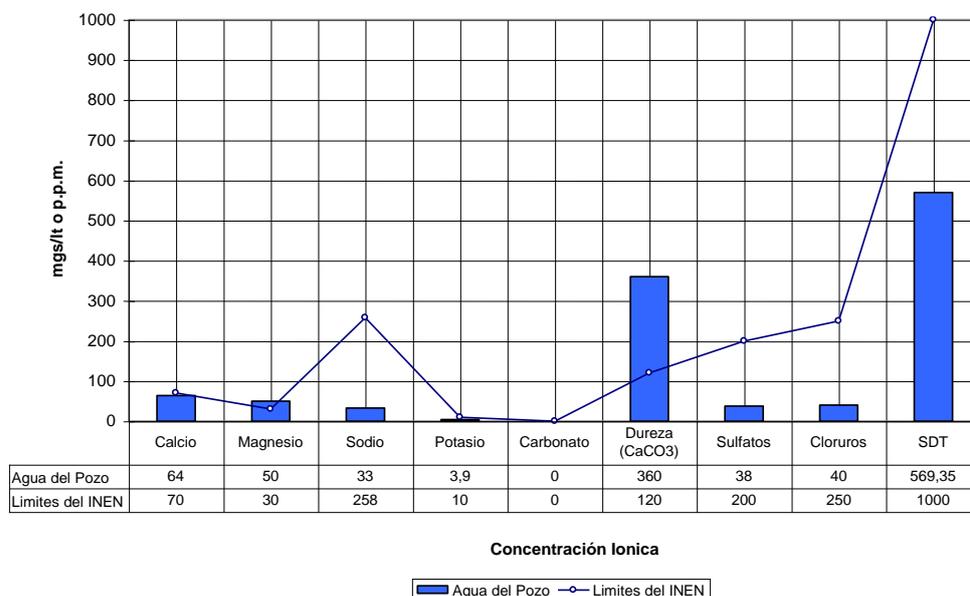


Figura 2.2 Relación de concentración iónica vs. Límites del INEN

### 2.3. Capacidad de enfriamiento actual

Debido al daño de la cisterna de enfriamiento por el poco criterio del personal de mantenimiento es que ha surgido esta serie de inconvenientes en la planta. Lo cual la temperatura del agua circulando en la planta es alta para el propósito de enfriamiento.

En esta sección se determinará la capacidad de enfriamiento actual, para luego realizar los cálculos respectivos de la capacidad de enfriamiento requerido.

### Determinación de la temperatura real del agua de enfriamiento

Para las lecturas de temperatura del agua de enfriamiento de cada maquina se utilizó una termocupla digital, la toma de estos datos se realizó en tres días diferentes en un horario de 8:00 AM. a 8:00 PM. Y se tomo la lectura a la entrada de la maquinas, a la salida y la temperatura ambiente.

Los gráficos siguientes son el promedio de las lecturas tomadas en los tres días.

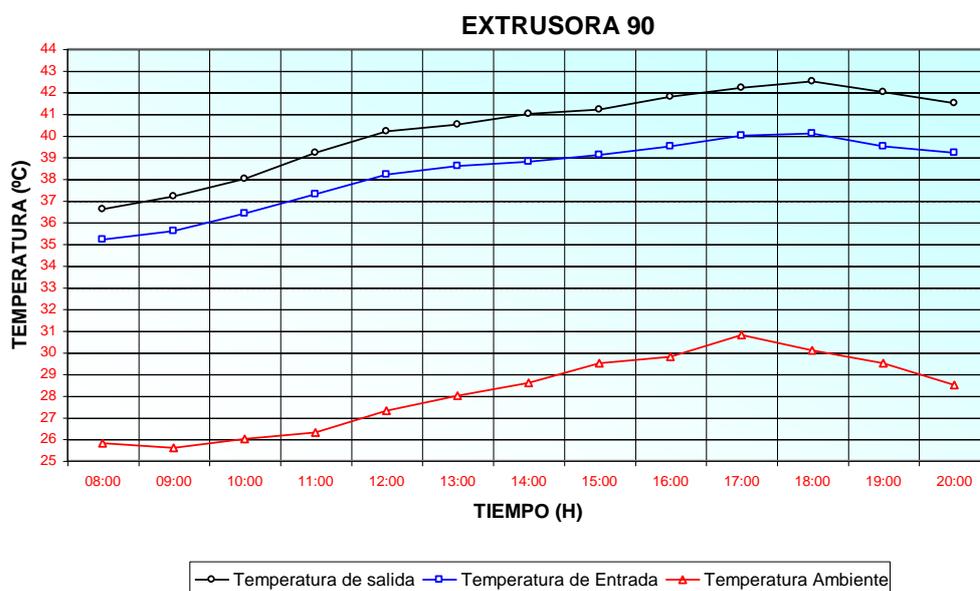


Figura 2.7 Temperatura del agua de enfriamiento (Extrusora 90)

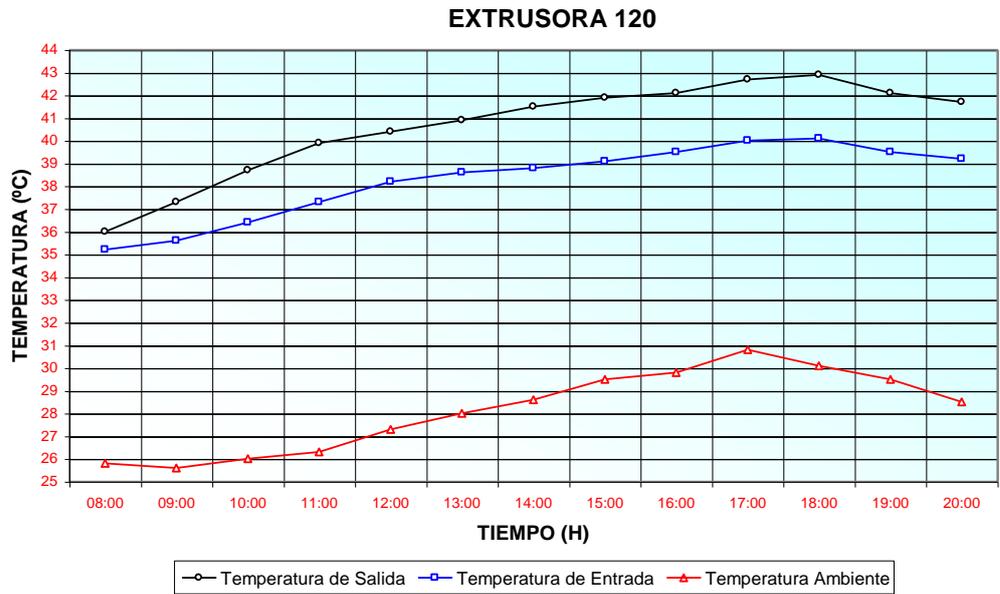


Figura 2.8 Temperatura del agua de enfriamiento (Extrusoras 120)

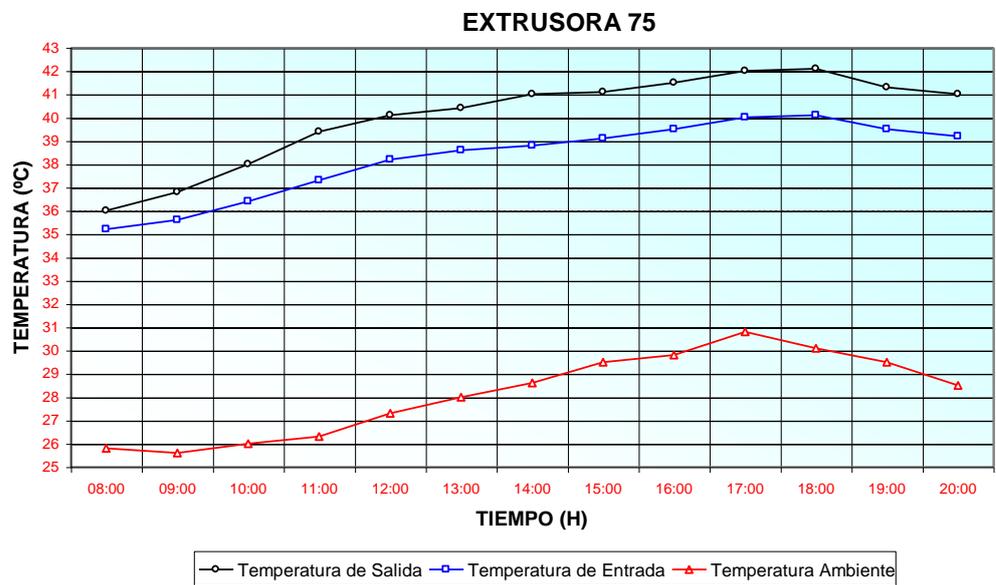


Figura 2.9 Temperatura del agua de enfriamiento (Extrusora 75)

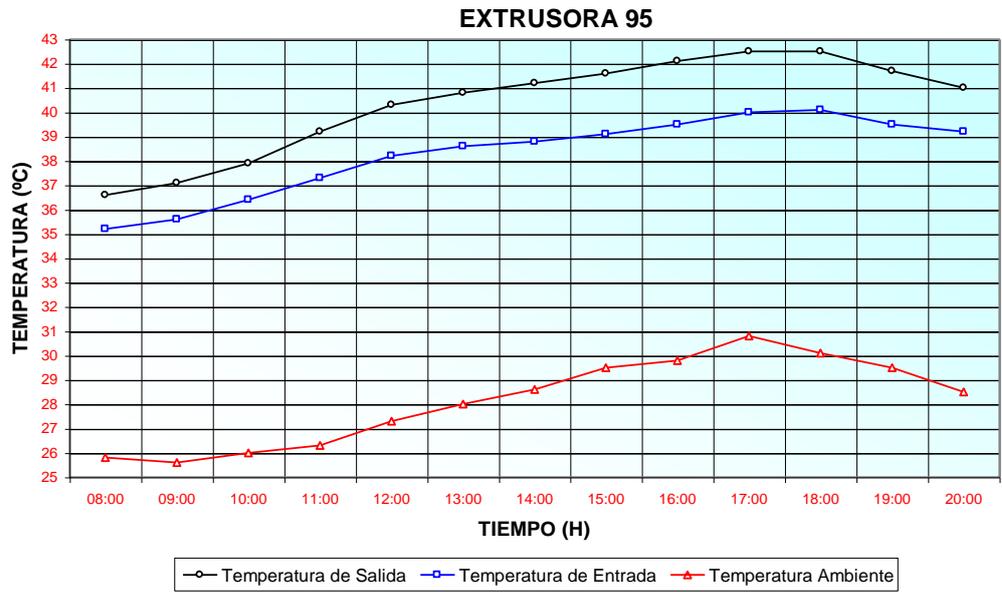


Figura 2.10 Temperatura del agua de enfriamiento (Extrusora 95)

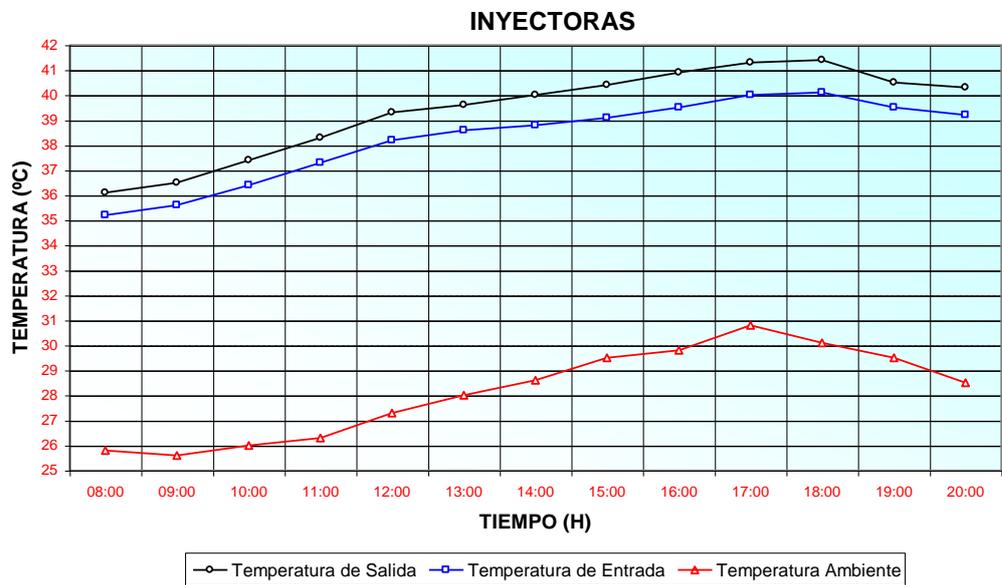


Figura 2.11 Temperatura del agua de enfriamiento (Inyectoras)

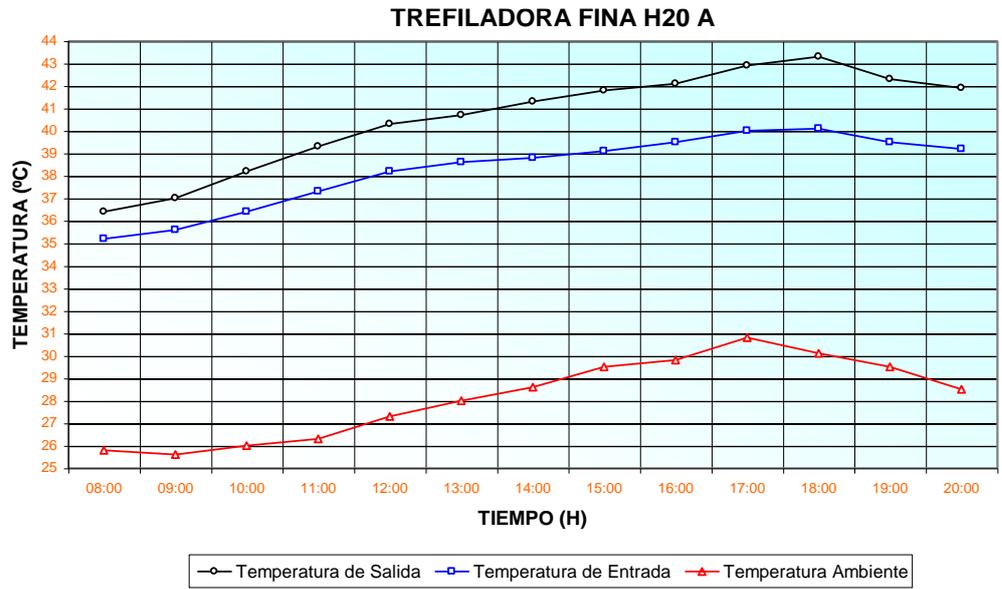


Figura 2.12 Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. Fina H20 A)

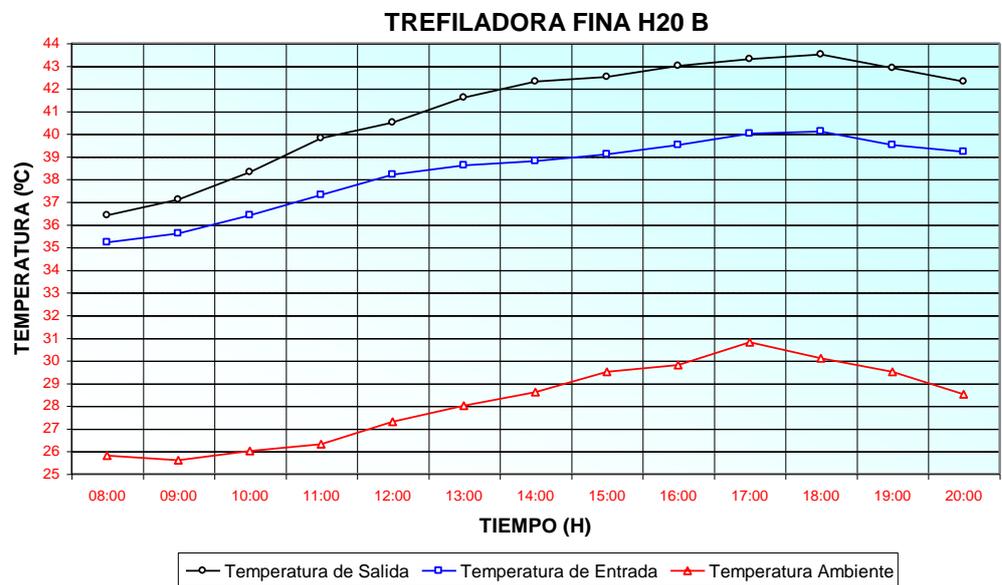


Figura 2.13 Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. Fina H20 B)

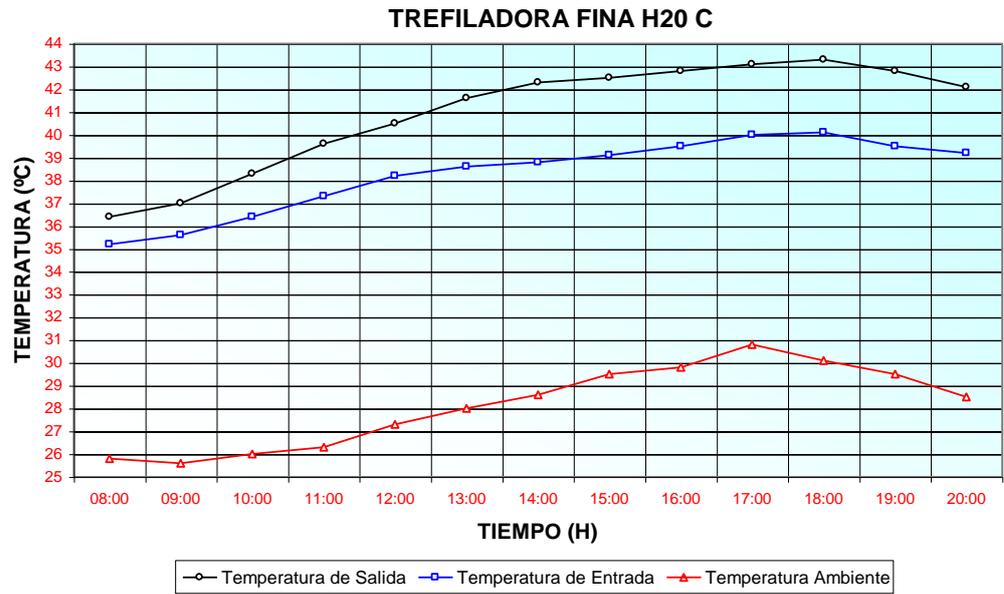


Figura 2.14 Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. Fina H20 C)

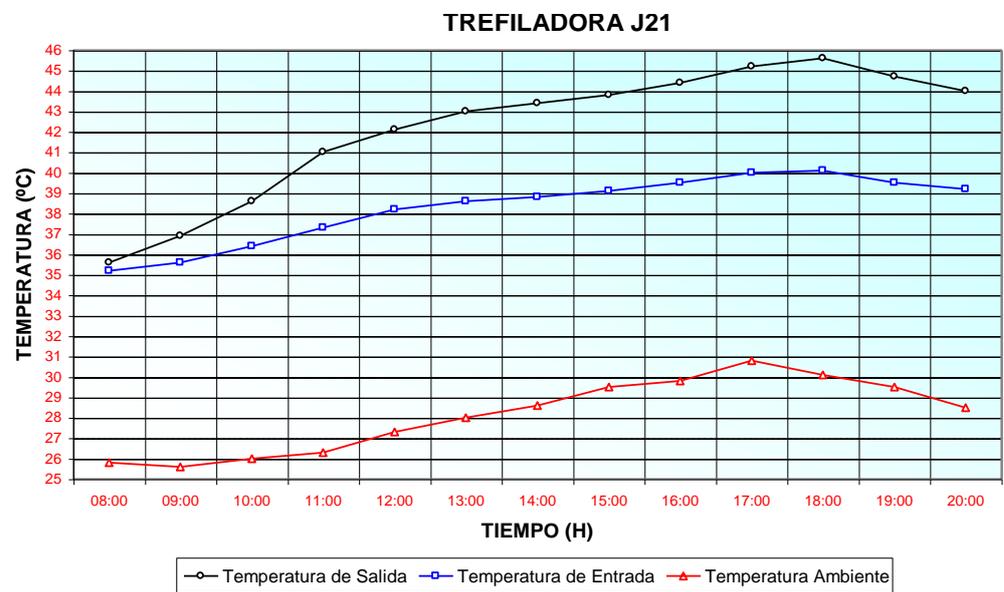


Figura 2.15 Temperatura del agua de enfriamiento (Trefiladora J21)

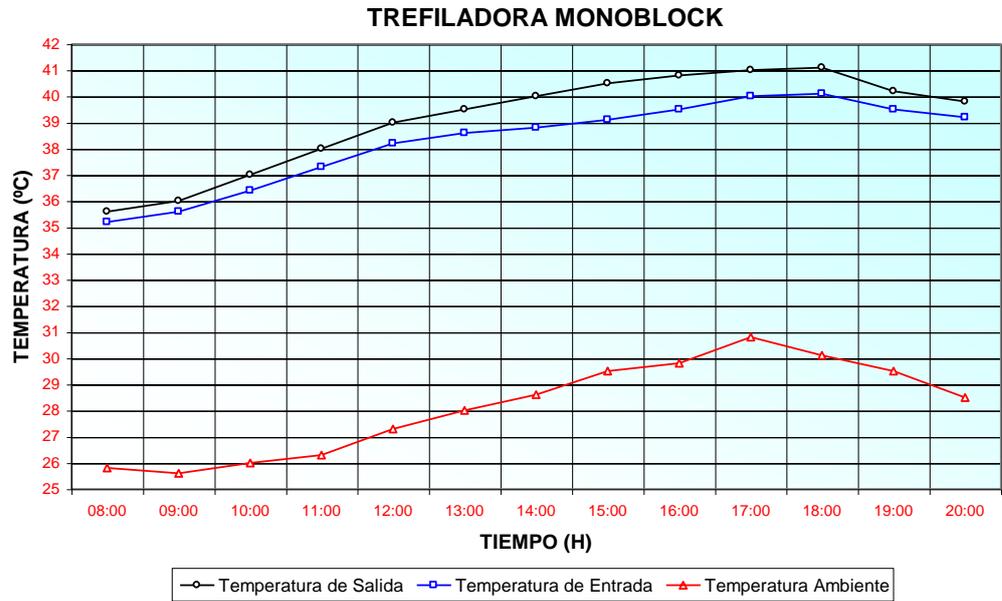


Figura 2.16 Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. Monoblock)

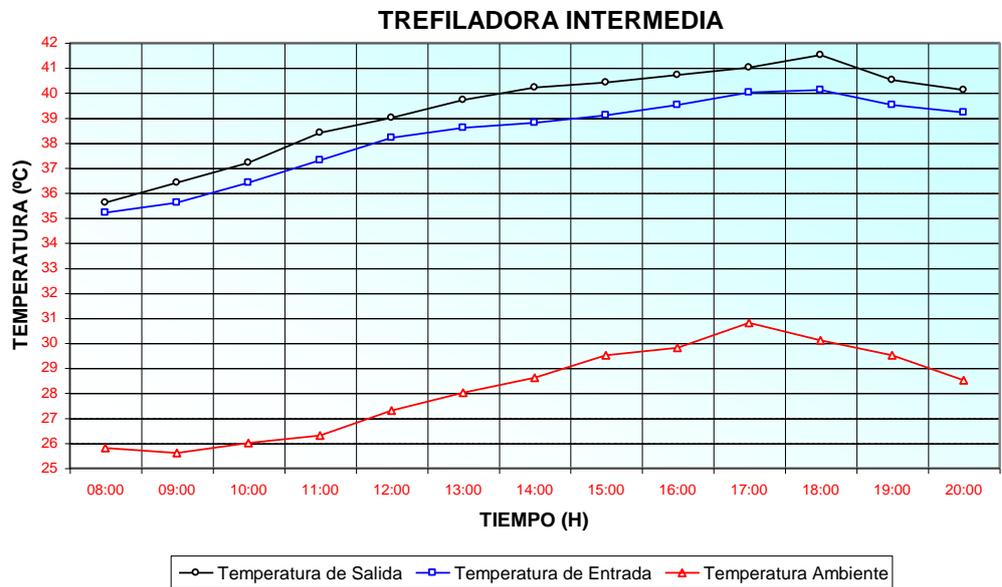


Figura 2.17 Temperatura del agua de enfriamiento (Tref. Intermedia)

Como se observó en las figuras 2.7 al 2.17 el comportamiento de la temperatura del agua de enfriamiento en las maquinas de producción a lo largo de la jornada de trabajo es creciente, se nota que la cisterna de enfriamiento ha perdido gran parte de su capacidad de enfriamiento por que las curvas tienden a desplazarse hacia arriba y además la temperatura del agua de enfriamiento tiende a comportarse como la temperatura ambiente y por las horas de operación de las maquinas ya que no se rechaza todo el calor generados por las mismas.

### **Determinación de la capacidad de enfriamiento actual**

La capacidad de enfriamiento del sistema actual será determinada por la ecuación:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1.1)$$

Para efecto del cálculo de la capacidad de enfriamiento se considera las propiedades físicas del agua a una temperatura de 40 °C que es una temperatura a la cual fluctúa gran parte del día y que además el calor específico del agua no varía mucho con un cambio de temperatura.

Las propiedades del agua son:

Densidad: 992,2 kg/mt<sup>3</sup>

Calor especifico: 4179 J/Kg.K

La densidad del agua a 40 °C es obtenido del apéndice D que muestra las propiedades físicas del agua y el calor especifico es obtenido del apéndice E.

El gradiente de temperatura máximo es determinado de las gráficas de la temperatura del agua (figuras 2.7 al 2.14) de las maquinas utilizadas en producción, los resultados obtenidos se presentan en tabla 9.

Energía del Sistema de agua de enfriamiento actual					
Maquinas	Caudal actual (mt <sup>3</sup> /seg)	Flujo masico (Kg/seg)	Cp (J/Kg*K)	?T (°C)	Calor (W)
Línea de Extrusora 90	0,0025	2,48	4179	2,5	25915,02
Línea de Extrusora 120	0,0027	2,68	4179	2,8	31346,81
Línea de Extrusora 75	0,0023	2,28	4179	2,2	20980,80
Línea de Extrusora 95	0,0027	2,68	4179	2,6	29107,75
Trefiladora Fina H20 A	0,00183	1,82	4179	3,2	24281,34
Trefiladora Fina H20 B	0,0012	1,19	4179	3,5	17414,90
Trefiladora Fina H20 C	0,0012	1,19	4179	3,5	17414,90
Trefiladora J21	0,0132	13,10	4179	5,5	301028,92
Trefiladora Intermedia	0,0033	3,27	4179	1,4	19156,39
Trefiladora Monoblock	0,0032	3,18	4179	1,4	18575,89
10 Inyectoras	0,00157	1,56	4179	1,4	9113,80
<b>TOTAL</b>	<b>0,0357</b>	<b>35,42</b>			<b>514336,51</b>

Tabla 9. Energía del sistema de agua de enfriamiento

El calor rechazado total por todas las maquinas de producción es igual a 514336,51 W, por lo tanto la capacidad de enfriamiento requerido en el sistema actual en toneladas de refrigeración es igual a 146,25 TR.

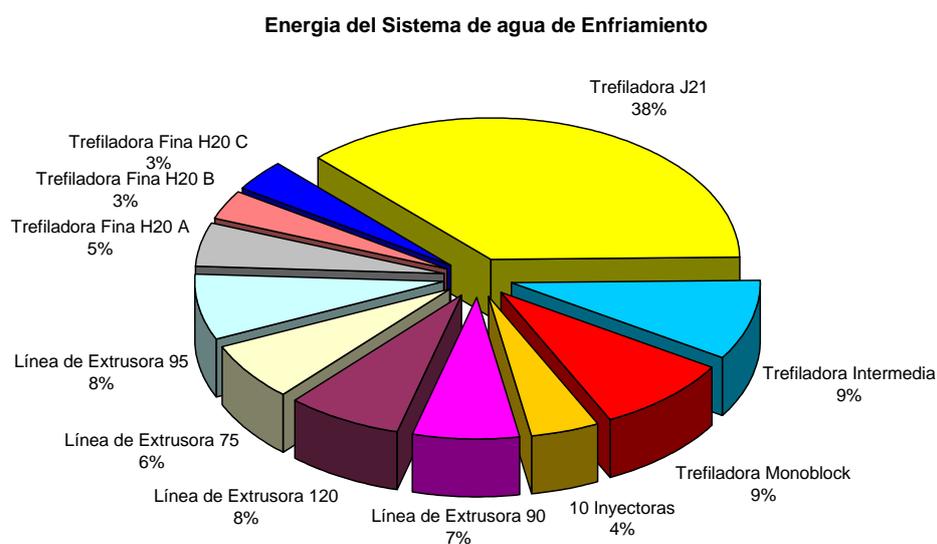


Figura 2.18 Energía del sistema de agua de enfriamiento

## **CAPÍTULO 3**

### **3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN**

En el presente capítulo tratará a cerca las alternativas de solución para mejorar el sistema de agua de enfriamiento en el cual el principal objetivo es reducir los tiempos muertos de producción y los costos de mantenimiento que ha producido el sistema de agua de enfriamiento actual. De acuerdo a los problemas que actualmente afronta la planta se debe mejorar el sistema de agua de enfriamiento realizando varias modificación en la red de tuberías debido a que hay maquinas que requieren más agua de enfriamiento que la actual, por otro lado la selección de una torre de enfriamiento para abastecer la demanda de la capacidad de enfriamiento actual y la implementación de un sistema de tratamiento de agua para mantener la calidad del agua de circulación y evitar daños futuros de las maquinas de producción e incrustaciones en las tuberías.

### **3.1 Modificación de la red de distribución del agua de enfriamiento**

De acuerdo a los caudales obtenidos de las maquinas de producción, existen ramales de distribución que circula más agua de lo que se requiere y en otra mucho menos de lo establecido por los catálogos de las maquinas en producción, los ramales que no cumplan con el caudal requerido se rediseñara y se seleccionará una nueva tubería de distribución de agua.

Con los cambios que se realicen en las tuberías, la velocidad del agua disminuirá y por ende las pérdidas por fricción en tubería se reducirán y esto implica menor potencia de bombeo y como resultado un menor costo, además que con una velocidad de agua moderada permitirá una correcta transferencia de calor en los intercambiadores de calor de las maquinas.

En el capítulo 4 se compararán los requerimientos de caudal y temperatura con los datos actuales de las maquinas y determinar que ramales requieren cambios en la tubería de las maquinas con una nueva selección de tuberías.

### **3.2 Aumentar la capacidad de enfriamiento**

De acuerdo al análisis de la capacidad de enfriamiento actual que se mostró en el gráfico 2.18 el calor rechazado por las maquinas de producción, se nota que el sistema de agua de enfriamiento esta colapsado por la baja capacidad de enfriamiento del sistema actual para la demanda total en la planta y esto lo demuestra las elevadas temperaturas en los gráficos del agua de enfriamiento de las maquinas de producción.

Este problema se ve reflejado en la producción por la calidad de los productos terminados, las altas temperaturas en la que operan las maquinas de producción y elevados tiempos muertos de producción.

Lo que necesita el sistema de agua de enfriamiento actual es aumentar la capacidad de enfriamiento para abastecer la demanda de las maquinas de producción y una de las alternativas de solución es la instalación de una torre de enfriamiento o varias torres conectadas en paralelo, según sea el diseño.

Las torres de enfriamiento son equipos que emplean el contacto directo o indirecto entre el agua y el aire atmosférico en el cual el agua caliente que ingresa desde la planta es pulverizada a través de rociadores para exponer gran superficie de las gotas de agua al aire atmosférico para producir una evaporación, una porción del agua

absorbe calor y cambia de líquido a vapor a presión constante, este cambio de estado hace que se retire calor del agua de ingreso produciendo una disminución de la temperatura en el agua de circulación.

En las figuras 3.1 se muestran esquemas de torres de enfriamiento de contacto directo e indirecto.

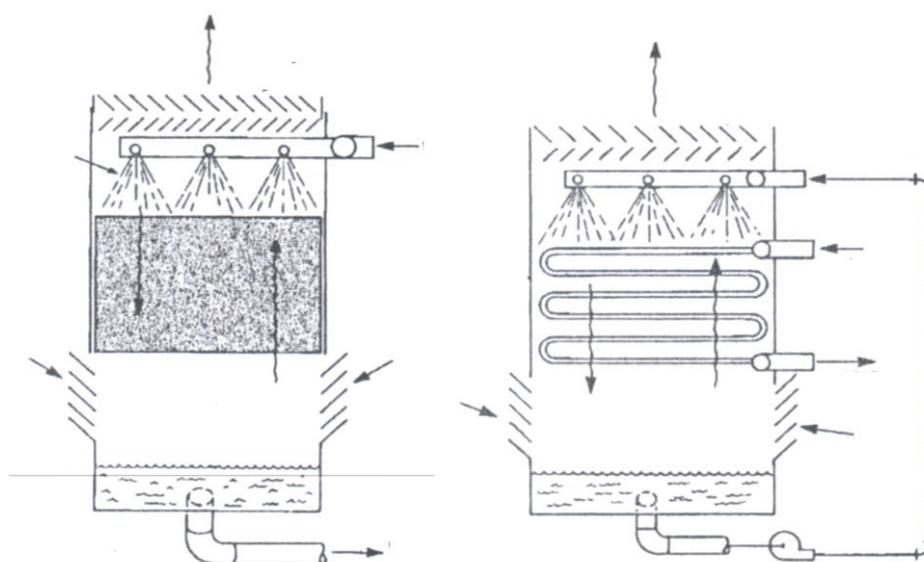


Figura 3.1 Torre de enfriamiento de contacto directo e indirecto

### 3.3. Selección de un sistema de tratamiento de agua

Aunque la explotación del agua del pozo con el fin de circularlo como agua de enfriamiento en la planta fue una muy buena idea para eliminar los costos de consumo de agua potable en la planta, pero a futuro tal vez ya no sea tan rentable debido a que los análisis del

agua del pozo demuestran que no es de tan buena calidad para las maquinas de producción, tuberías y torres de enfriamiento.

Los parámetros que se deben de tener controlado para obtener un agua de calidad para el sistema de agua de enfriamiento son PH, Alcalinidad, Dureza, Sólidos totales disueltos, Hierro y Sílice.

Los efectos que producen las elevadas concentraciones iónica del agua del pozo son perjudiciales para la transferencia de calor tanto en tuberías como en intercambiadores de calor de las maquinas, a continuación en la tabla 10 se muestra una clasificación de los efectos que producen estas concentraciones iónicas.

Nombre	Símbolo	Nombre Común	Efecto
Carbonato de Calcio	CaCO <sub>3</sub>	Cal	Incrustaciones Blandas
Bicarbonato de Calcio	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		Incrustaciones Blandas
Sulfato de Calcio	CaSO <sub>4</sub>	Gypsum	Incrustaciones Duras
Cloruro de Calcio	CaCl <sub>2</sub>		Corrosión
Carbonato de Magnesio	MgCO <sub>3</sub>		Incrustación Blanda
Sulfato de Magnesio	MgSO <sub>4</sub>	Magnesita	Corrosión
Bicarbonato de Magnesio	Mg(HCO <sub>3</sub> )	Sal de Epsom	Incrustación, Corrosión
Cloruro de Magnesio	MgCl <sub>2</sub>		Corrosión
Cloruro de Sodio	NaCl	Sal Común	Electrolisis
Carbonato de Sodio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Soda	Alcalinidad
Bicarbonato de Sodio	NaHCO <sub>3</sub>	Soda ASH	Arrastre Espumación
Hidróxido de Sodio	NaOH	Soda Cáustica	Alcalinidad, Fisuración
Sulfato de Sodio	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sal de Glauber	Alcalinidad
Dióxido de Silicio	SiO <sub>2</sub>	Silica	Incrustaciones Duras

Tabla 10. Efectos de las concentraciones iónicas

De acuerdo al análisis del agua del pozo, la dureza total como CaCO<sub>3</sub> es quien esta fuera de los límites establecidos con 360

p.p.m. y se considera un agua muy dura y esto produce incrustaciones. A continuación se muestra en la tabla 11 la clasificación de la dureza del agua.

<b>Descripción</b>	<b>Partes por millón</b>
Agua muy blanda	< 15 ppm
Agua blanda	15 – 50 ppm
Agua ligeramente dura	50 – 100 ppm
Agua dura	100 – 200 ppm
Agua muy dura	> 200 ppm

Tabla 11. Clasificación de la dureza del agua

Estas incrustaciones son depósitos adherentes que posan sobre la superficie de transferencia térmica en el interior de las tuberías producidas por impurezas sedimentadas, estas incrustaciones actúan como un aislante térmico produciendo una reducción de la eficiencia térmica y reducen el diámetro de las tuberías.

La alternativa de solución para evitar estas pérdidas de calor por incrustaciones provocado por la alta dureza es la instalación de un ablandador de agua que no es más que un suavizador de agua que utiliza el proceso de intercambio iónico, es decir, sustituye o intercambia minerales duros como calcio y magnesio por minerales suaves como sodio a través de su carga eléctrica.

## **CAPÍTULO 4**

### **4. REINGENIERÍA DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO**

En el presente capítulo el nuevo diseño del sistema de agua de enfriamiento contará con la nueva selección de tuberías para la distribución de agua en las extrusoras y trefiladoras, para cumplir con el caudal requerido, además se instalará dos torres de enfriamiento para cubrir la demanda y llevar un control del mantenimiento sin parar la producción, reduciendo costos de operación debido a la variación de la carga del sistema a lo largo de un día de producción.

Las torres de enfriamiento operarán individualmente con bombas independientes y un sistema de distribución de agua para la alimentación de las mismas, estas torres estarán ubicadas sobre la cisterna principal para descargar el agua de las torres hacia la cisterna para luego distribuir a la planta.

De acuerdo a la demanda de caudal de agua en la planta se establece la reposición de agua por evaporación en las torres de enfriamiento y será abastecido por el agua del pozo subterráneo pasando por un tratamiento de agua dura como es el ablandador de agua y el caudal restante del agua del pozo que antes era desperdiciado al exterior de la planta, ahora será almacenado para servicios varios que requiere la planta reduciendo costos de agua potable.

En la figura 4.1 se muestra el diagrama funcional del nuevo sistema de agua de enfriamiento en la planta.

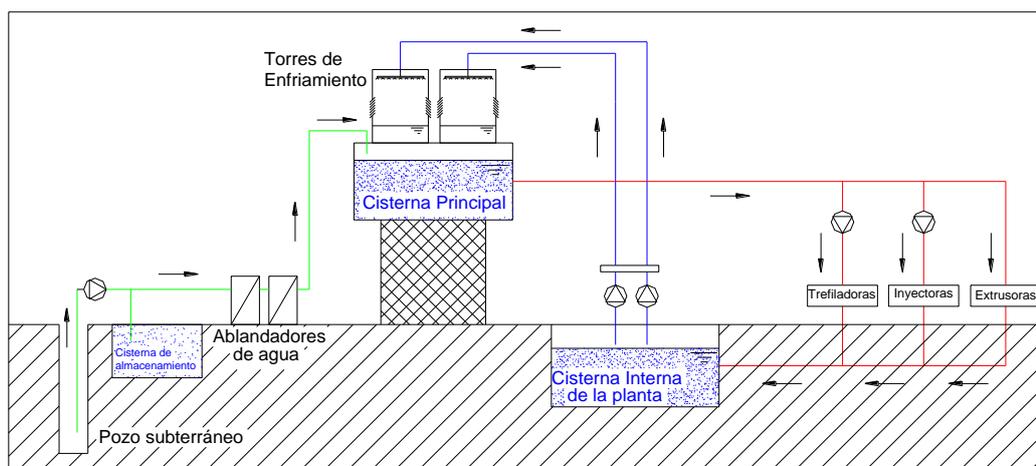


Figura 4.1 Diagrama del nuevo sistema de agua de enfriamiento

#### **4.1 Requerimientos de caudal y temperatura del agua de enfriamiento**

Los requerimientos de operación para el enfriamiento de agua de los intercambiadores de calor de las maquinas inyectoras, extrusoras y trefiladoras se basan en las recomendaciones de los fabricantes que estipulan en los catálogos de las maquinas, pero debido a que en la planta la gran mayoría de maquinarias son adquisiciones usadas, no cuentan con todos los catálogos, tan solo cuenta con unos datos escritos con ciertos parámetro de operación y mantenimiento de la maquina.

Para estas maquinas que no cuentan con catálogos, verificamos los requerimientos de operación en la placa de identificación de los intercambiadores de calor de las maquinas y en la experiencia del ingeniero Manuel Haz de la empresa IVAN BOHMAN que prestó su ayuda para la recopilación de esta información.

A continuación en las tablas 12 y 13 se presentan las toneladas de refrigeración requeridas de acuerdo a las características de las extrusoras e inyectoras.

<b>EXTRUSIÓN</b>		
<b>Capacidad</b>		
<b>Kg/h</b>	<b>Material</b>	<b>Toneladas de Refrigeración</b>
23	Polietileno	1
23	Polipropileno	1
34	Poliestireno	1
36,3	PVC	1
<b>Cabezal</b>		
< 76 mm.		1
> 76 mm.		2
<b>Cilindro</b>		
25 mm.		1
<b>Potencia total instalada</b>		
74,57 KW		1

Tabla 12. Requerimientos de enfriamiento en extrusoras

<b>INYECCIÓN</b>		
<b>Capacidad</b>		
<b>Kg/h</b>	<b>Material</b>	<b>Toneladas de Refrigeración</b>
13,5	HDPE	1
16	LDPE	1
16	Polietileno	1
18	Nylon	1
18	PET	1
23	Poliestireno	1
23	ABS	1
29,5	PVC	1
29,5	Policarbonato	1
<b>Motor Hidraulico</b>		
0,74 KW		0,1

Tabla 13. Requerimientos de enfriamiento en inyectoras

Los requerimientos de caudal de agua de enfriamiento de las extrusoras e inyectoras se pueden determinar a partir de las

toneladas de refrigeración requerida y con la característica de las torres de enfriamiento que operan por lo general a 0,000189 mt<sup>3</sup>/seg. por cada tonelada de refrigeración (3 GPM / TR), se determinará el caudal necesario para su enfriamiento y la temperatura de entrada del agua en base a los catálogos y recomendaciones.

En cuanto a las trefiladoras finas H20, los requerimientos de caudal y temperatura fueron obtenidos de los catálogos debido a que estas maquinas fueron compradas como nuevas y el resto de trefiladoras los requerimientos se basan en la placa de los intercambiadores de calor de cada trefiladora.

A continuación en las tablas 14, 15 y 16 se presentan el resumen de los requerimientos de caudal y temperatura de las maquinas que operan en producción.

<b>REQUERIMIENTOS DE CAUDAL Y TEMPERATURA (EXTRUSORAS)</b>					
		Extrusora 90	Extrusora 120	Extrusora 75	Extrusora 95
<b>Cabezal (mm.)</b>		90	120	75	95
<b>Capacidad (Kg/h)</b>		280	450	120	280
<b>Potencia instalada (KW)</b>		50	81	20	50
<b>TR requerida Extrusoras</b>	<b>motor</b>	0,67	1,08	0,27	0,67
	<b>cabezal</b>	2	2	1	2
	<b>cilindro</b>	7,2	9,6	6	7,6
	<b>TOTAL</b>	9,87	12,68	7,27	10,27
<b>TR requerida en la Tina</b>		7,71	12,4	3,3	7,71
<b>Caudal EXT (mt.<sup>3</sup>/seg.)</b>		0,0019	0,0024	0,0014	0,0019
<b>Caudal Tina (mt.<sup>3</sup>/seg.)</b>		0,0015	0,0023	0,0062	0,0015
<b>Temperatura EXT (°C)</b>		27	27	27	27
<b>Temperatura Tina (°C)</b>		27	27	27	27

Tabla 14. Requerimientos de caudal y temperatura para extrusoras

REQUERIMIENTOS DE CAUDAL Y TEMPERATURA (INYECTORAS)							
Maquinaria	Marca	Potencia W	TR requerido (aceite)	aceite hidráulico		molde de inyectora	
				mt.³/seg.	(°C)	mt.³/seg.	(°C)
Inyectora 1	Autojectors	5592,75	0,75	0,00014	27	0,00050	10
Inyectora 2	Autojectors	5592,75	0,75	0,00014	27	0,00050	10
Inyectora 3	Autojectors	5592,75	0,75	0,00014	27	0,00050	10
Inyectora 4	Autojectors	5592,75	0,75	0,00014	27	0,00050	10
Inyectora 5	Autojectors	5592,75	0,75	0,00014	27	0,00050	10
Inyectora 6	Newbury	5592,75	0,75	0,00014	27	0,00050	10
Inyectora 7	Newbury	5592,75	0,75	0,00014	27	0,00050	10
Inyectora 8	Newbury	5592,75	0,75	0,00014	27	0,00050	10
Inyectora 9	Newbury	5592,75	0,75	0,00014	27	0,00050	10
Inyectora 10	Newbury	5592,75	0,75	0,00014	27	0,00050	10

Tabla 15. Requerimientos de caudal y temperatura de inyectoras

REQUERIMIENTOS DE CAUDAL Y TEMPERATURA (TREFILADORAS)					
MAQUINARIA	Marca	Aceite hidráulico		Hileras	
		mt.³/seg.	(°C)	mt.³/seg.	(°C)
Trefiladora Fina H20 A	Niehoff Gruppe	0,0014	30	0,0014	30
Trefiladora Fina H20 B	Niehoff Gruppe	0,0014	30	0,0014	30
Trefiladora Fina H20 C	Niehoff Gruppe	0,0014	30	0,0014	30
Trefiladora Intermedia	xxxxxxxxxxx	0,0016	30	0,0016	30
Trefiladora Monoblock	XXXXXXXXXX	0,0016	30	0,0016	30
Trefiladora J21	SYNCRO J21	0,0013	30	0,0028	30

Tabla 16. Requerimientos de caudal y temperatura de trefiladoras

Estos requerimientos de caudal y temperatura para el enfriamiento del agua son comparadas con los datos obtenidos de caudal y temperatura del sistema de agua de enfriamiento actual en el capítulo 2.

Existe una observación en las inyectoras que requieren agua de enfriamiento para el circuito de aceite hidráulico y para los molde de los enchufes, debido a que el circuito de enfriamiento de los moldes es un sistema independiente que esta conectado con un chiller reciprocante enfriado por aire (McQuay) de 30 Toneladas de refrigeración con un caudal de  $0.005 \text{ mt.}^3/\text{seg}$  que abastece a todas las inyectoras, por lo tanto este circuito no se tomará en cuenta en el rediseño, por otro lado el circuito del sistema de enfriamiento del aceite hidráulico de las inyectoras si será parte del análisis por estar conectado a la cisterna de enfriamiento averiada actualmente.

En tanto que las trefiladoras necesitan agua para el enfriamiento del aceite hidráulico y las hileras, en este caso ambos circuitos serán considerados en el nuevo diseño del sistema de agua de enfriamiento por formar parte del sistema actual.

A continuación en las figuras 4.2, 4.3 y 4.4, presentan una comparación del caudal y temperatura de lo actual y lo requerido en las maquinas que operan en producción.

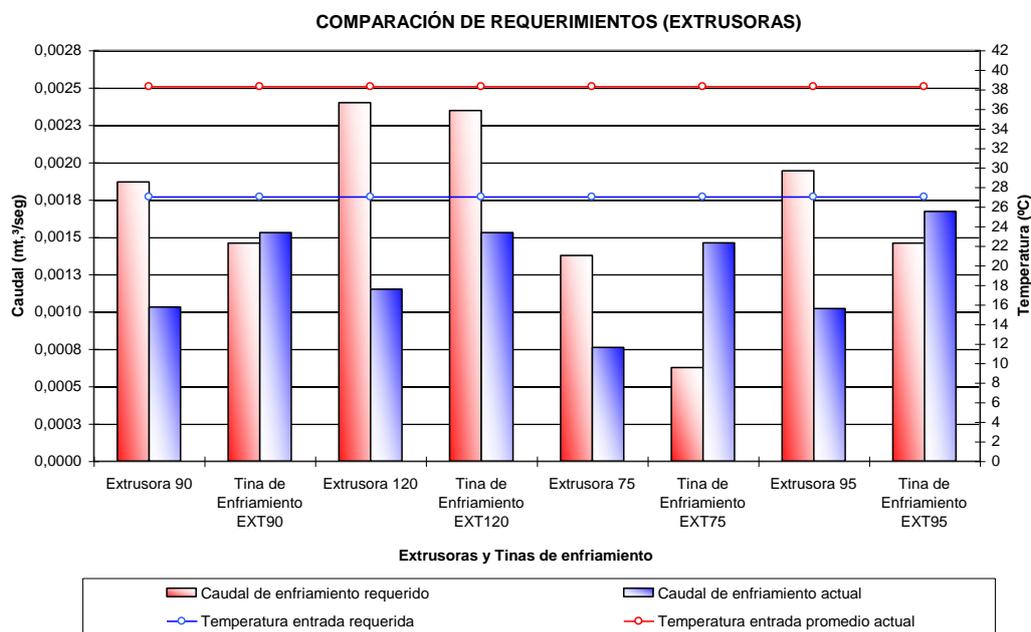


Figura 4.2 Comparación de requerimientos (extrusoras)

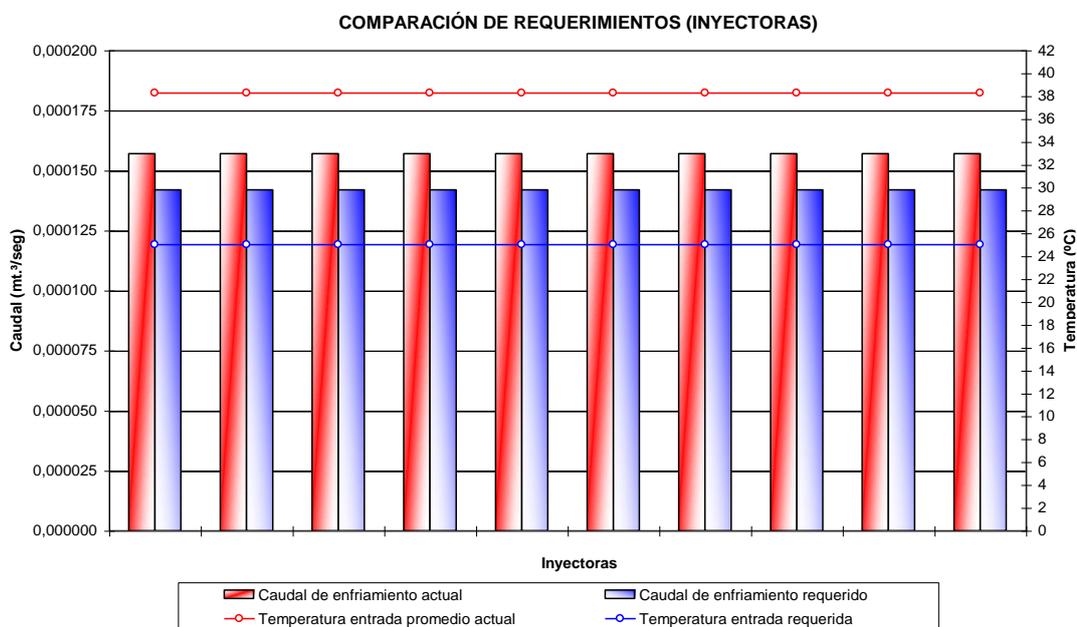


Figura 4.3 Comparación de requerimientos (inyectoras)

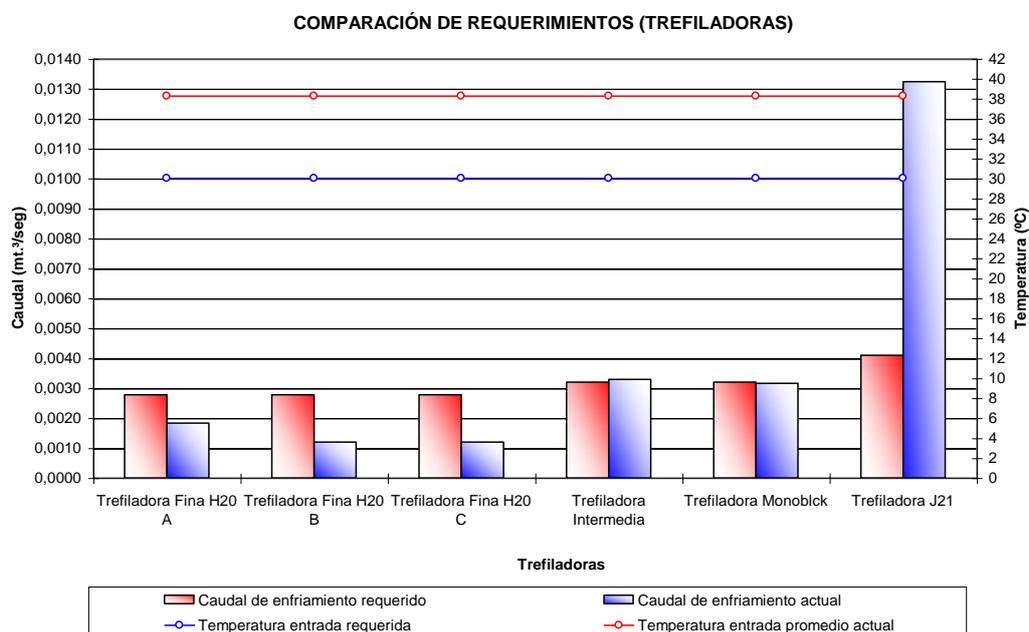


Figura 4.4 Comparación de requerimientos (trefiladoras)

Los gráficos muestran en las extrusoras que requieren mucho más caudal del que circula actualmente y esto permite que la temperatura se eleve considerablemente y disminuya la velocidad de enfriamiento del recubrimiento de PVC de los cable en las tinas de enfriamiento, mientras que en las trefiladoras intermedia, monoblock y las inyectoras el caudal que circula actualmente esta acorde a lo que requieren las maquinas para el enfriamiento de las mismas, pero en general para todas las maquinas la temperatura de entrada promedio esta elevada con 38 °C actualmente cuando se requieren entre 27 y 30 °C, lo cual se estaría hablando de una diferencia entre 11 a 8 °C.

En las trefiladoras finas H20 actualmente tiene una reducción de 57 a 34% de agua de enfriamiento requerida para que se produzca una correcta transferencia de calor entre el agua y la emulsión, mientras que en la trefiladora J21 ocurre lo contrario, el agua en circulación para el enfriamiento es 323% mayor que el requerido, esto significa que el agua tiene una elevada velocidad y un número de Reynolds excesivo que no permite una buena transferencia de calor al agua.

#### **4.2 Reingeniería de la red de distribución del agua de enfriamiento**

De acuerdo a la diferencia considerable de caudal de agua de enfriamiento en la maquinaria de producción, todas las extrusoras, tinas de enfriamiento, trefiladoras finas H20 y trefiladora J21 requieren de una nueva selección de tuberías y accesorios que cumpla con el caudal, pérdidas de fricción y caída de presión recomendado.

Aunque las inyectoras y las trefiladoras monoblock e intermedia cumplen con el caudal recomendado no será necesario realizar cambios en su red de tuberías de distribución, pero si será necesario verificar si las tuberías cumplen con la caída de presión y la pérdida de fricción recomendado.

Las recomendaciones de diseño para tuberías es que la caída de presión admisible debida a la fricción sea de 452,41 Pascales por cada metro de longitud total de tubería y la pérdida por fricción admisible debe de ser un rango de 0,00787 a 0,045 mts. de agua por cada metro de longitud total de tubería. La velocidad normal del agua en las tuberías debe ser de 0,60 a 1,80 mt/seg, lo cual se resume en la tabla 17.

<b>Caída de Presión por fricción</b>	452,41 Pa / mt. de longitud (max.)
<b>Pérdida por fricción</b>	0,00787 < h <sub>f</sub> < 0,045
<b>Velocidad del agua</b>	V > 0,60 mt/seg (diámetros < 63 mm.) V < 1,80 mt/seg (diámetros > 75 mm.)

Tabla 17. Recomendaciones de diseño de tuberías

Además, se considerará que para la resistencia al flujo debido a los accesorios en las tuberías se utilizará el parámetro de longitud equivalente, en donde la resistencia del componente varía de la misma manera que un tubo recto.

La tubería es de acero galvanizado ASTM A120 cédula 40.

En base a estos parámetros, se procederá al rediseño de la red de tuberías de distribución.

### Trefiladoras finas H20

A continuación se realizará la selección del diámetro de las tuberías y bomba centrífuga.

Qt: 0,00833 mt<sup>3</sup>/seg

$\rho$ : 994,9 Kg/mt<sup>3</sup>

$\mu$ : 0,000762 N.seg/mt<sup>2</sup>

g: 9,8 mt/seg<sup>2</sup>

Las propiedades físicas del agua como la densidad y la viscosidad dinámica fueron tomadas del apéndice D para una temperatura de 32,5 °C que sería la temperatura de salida del agua de enfriamiento de las maquinas y que se explicará con mas detalle en la sección 4.3 Dimensionamiento y Selección de la Torre de Enfriamiento.

La ecuación de la energía (4.1) aplicada entre dos puntos es.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + z_1 + h_b = \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + z_2 + h_f \quad (4.1)$$

Existen algunas consideraciones tales como la superficie del agua tanto a la entrada como a la salida es abierto, entonces las presiones y las velocidades en los puntos 1 y 2 se anulan, por lo que la ecuación de la energía queda reducida a:

$$h_b = (z_2 - z_1) + h_f \quad (4.2)$$

Para la selección del diámetro de las tuberías se utiliza las tablas de pérdidas por fricción para tuberías de acero en el apéndice F y se

busca de acuerdo al caudal la pérdida de fricción que no sobrepase la máxima admisible de 0,045 mts. de agua por cada mt. de longitud de tubería (4,5 ft. / 100 ft de longitud) para luego escoger el diámetro de la tubería que cumpla con lo recomendado.

Para el primer tramo con la selección del diámetro de la tubería de 63 mm. ( $\text{Ø}2\frac{1}{2}$ " ) se calcula el área de circulación del agua, para esto se requiere del diámetro interno de las tuberías de cedula 40 de la tabla del apéndice G.

Di: 62,712 mm. (2,468 in.)

$$A = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \quad (4.3)$$

$$A = \frac{\pi \cdot (0,0627)^2}{4} = 0,003087 \text{ mt}^2$$

La ecuación 4.4 presenta la velocidad del agua en la tubería de 63 mm. de diámetro.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4.4)$$

$$V = \frac{0,00833 \text{ mt}^3/\text{seg}}{0,003087 \text{ mt}^2} = 2,69 \text{ mt}/\text{seg}$$

Se calcula el número de reynold de la ecuación 4.5.

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot D_i}{\mu} \quad (4.5)$$

$$\text{Re} = \frac{(994,9) \cdot (2,69) \cdot (0,0627)}{0,000762} = 255799,59$$

Como el número de Reynolds 255799,59 es mayor a 4000, entonces es un flujo turbulento.

Para calcular el factor de fricción, se necesita del número de Reynold y de la rugosidad relativa que es determinado del apéndice H, para una tubería de acero galvanizado de diámetro de 63 mm.

$$e/D:0,0024$$

El factor de fricción es determinado del diagrama de Moody del apéndice I con el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

$$f: 0,0252$$

A continuación se presenta el esquema de las tuberías de las trefiladoras finas H2O con los diámetros de tuberías seleccionados.

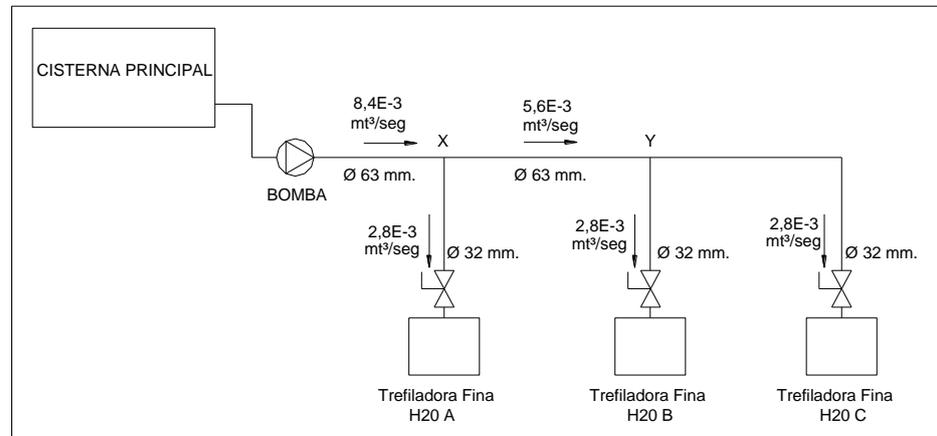


Figura 4.5 Distribución de tuberías (Trefiladoras Finas H2O)

La longitud total de las tuberías del sistema es determinada por las distancias de ubicación de las máquinas y las longitudes

equivalentes por accesorios y válvulas que serán determinadas por el diámetro seleccionado y el accesorio requerido de la tabla de pérdidas por accesorios de tubería en el apéndice F.

Para el primer ramal de acuerdo a la ecuación 4.6 se calcula la pérdida de fricción en la tubería.

$$h_f = f \cdot \left( \frac{L_t}{D_i} \right) \cdot \left( \frac{V^2}{2 \cdot g} \right) \quad (4.6)$$

$$h_f = (0,0252) \cdot \left( \frac{6,87}{0,06271} \right) \cdot \left( \frac{(2,69)^2}{2 \cdot 9,8} \right) = 1,02\_mt.$$

Además se calcula la caída de presión por fricción en la tubería de este ramal según la ecuación 4.7.

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h_f \quad (4.7)$$

$$\Delta P = (994,9) \cdot (9,8) \cdot (1,02) = 9960,50\_Pa$$

En la tabla 18 se presenta las longitudes equivalentes de los accesorios y válvulas de la tubería de las trefiladoras Finas H20.

VÁLVULAS Y ACCESORIOS	Longitud equivalente (mt.)	Cantidad	Longitud equivalente total (mt.)
Tee (flujo línea principal) Ø 63 mm.	1,52	1	1,52
Tee (flujo línea principal) Ø 32 mm.	0,91	1	0,91
Tee (flujo por ramal) Ø 32 mm.	2,31	2	4,62
Válvula de compuerta Ø 32 mm.	0,24	3	0,72
Válvula de retención Ø 63 mm.	4,87	1	4,87
Codo 90° Ø 32 mm.	1,06	1	1,06
<b>TOTAL (mt.)</b>			<b>13,70</b>

Tabla 18. Longitudes equivalentes por accesorios (Tref. Finas H20)

La tabla 19 muestra la longitud total por tuberías y por accesorios de la distribución de tuberías de las trefiladoras H20.

LONGITUDES TOTALES EQUIVALENTES (mt.)					
ACCESORIOS Y TUBERÍAS	Bomba - punto X (Ø 63 mm.)	punto X - maq. A (Ø 32 mm.)	punto X - punto Y (Ø 63 mm.)	punto Y - maq. B (Ø 32 mm.)	punto Y - maq. C (Ø 32 mm.)
Longitud de tubería (mt.)	2,00	2,20	2,80	2,20	6,00
Tee (flujo línea principal)	0,00	0,00	1,52	0,00	0,91
Tee (flujo por ramal)	0,00	2,31	0,00	2,31	0,00
Válvula de compuerta	0,00	0,24	0,00	0,24	0,24
Válvula de retención	4,87	0,00	0,00	0,00	0,00
Codo 90°	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06
Intercambiador de calor	0,00	6,00	0,00	6,00	6,00
<b>TOTAL (mt.)</b>	<b>6,87</b>	<b>10,75</b>	<b>4,32</b>	<b>10,75</b>	<b>14,21</b>

Tabla 19. Longitud total por ramal (Tref. Finas H20)

El resumen de los cálculos de la distribución de tuberías se presenta en la tabla 20.

Tramo de tubería	Longitud total equivalente (mt.)	Caudal (mt. <sup>3</sup> /seg.)	Diámetro interno (mm.)	Velocidad (mt./seg.)	Reynold (Re)	Rugosidad relativa (e/D)	Factor de fricción (f)	Pérdida por fricción (mt.)	Caida de presión (Pa)
Bomba - punto X	6,87	0,00833	62,712	2,697	255799,59	0,0024	0,0252	1,024	9960,55
punto X - maq. A	10,75	0,00278	35,052	2,881	152734,62	0,0048	0,0306	3,974	38640,70
punto X - punto Y	4,32	0,00555	62,712	1,797	170430,70	0,0048	0,0305	0,346	3365,16
punto Y - maq. B	10,75	0,00278	35,052	2,881	152734,62	0,0029	0,0268	3,480	33842,18
punto Y - maq. C	14,21	0,00278	35,052	2,881	152734,62	0,0048	0,0306	5,253	51077,61
<b>TOTAL</b>								<b>14,08</b>	<b>136886,19</b>

Tabla 20. Resultados por ramal de tubería (Tref. Finas H20)

La tabla 17 indica que la pérdida por fricción máxima en tuberías es de 0,045 mts. por cada metro de longitud, para la longitud equivalente de las trefiladoras finas H2O;

$$\frac{0,045 \text{ _ mts. _ deH2O}}{\text{mt.}} \cdot (15,2 \text{ _ mt}) = 0,68 \text{ _ mts. _ deH2O}$$

El total de las pérdidas por fricción en la distribución de las trefiladoras finas H2O es de 14,08 mts. de H2O, lo que significa que;

$$0,68 \text{ mts. de H2O} < 14,08 \text{ mts. de H2O}$$

Como es menor, esto indica que esta fuera del rango permitido.

El valor que indica que para diseño de tuberías por pérdidas por fricción es un valor referencial en el cual el diseñador se guía para establecer un limite de las pérdidas, debido a que las perdidas por fricción son directamente proporcional al cuadrado de la velocidad, por ende requerirá de una bomba más grande, lo que significa más costo de operación, pero en este caso la distribución de agua para este ramal se le agrega energía al fluido, ya que la cisterna esta sobre las maquinas y el agua fluye por gravedad y ayuda a la bomba a circular el agua, por lo tanto a pesar de la gran pérdida por fricción no se requerirá de una bomba mas grande.

De acuerdo a la ecuación de la energía 4.2 se determina el cabezal de la bomba, que es la suma de la altura estática y la altura dinámica que no es más que las pérdidas por fricción de tuberías y accesorios.

La altura estática total ( $Z_2 - Z_1$ ) es la distancia que existe entre la

superficie del agua en la cisterna principal y el punto de descarga de agua hacia la cisterna interna de la planta.

Hes: 2,45 mt.

Hed: 2,80 mt.

$$\text{Het} = \text{Hes} + \text{Hed} \quad (4.8)$$

$$\text{Het} = 2,45 + 2,80 = 5,25 \text{ mt.}$$

$$h_p = (z_2 - z_1) + h_f \quad (4.2)$$

$$h_p = -5,25 + 14,08 = 8,83 \text{ mt.}$$

La bomba centrífuga a seleccionar es de la marca Bell & Gossett de la serie 80 y las curvas de selección son del apéndice J.

Diámetro nominal de descarga de tubería: 63 mm. ( $\text{Ø}2\frac{1}{2}$ " )

Caudal: 0,0083  $\text{m}^3/\text{seg}$  (132 GPM)

Cabezal: 8,83 mts. de  $\text{H}_2\text{O}$  (28,96 ft.)

A continuación se resume las características de la bomba seleccionada en la tabla 21.

<b>Características de la Bomba seleccionada (Trefiladoras Finas H20)</b>	
Modelo: $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 9\frac{1}{2}$ B	Potencia: 1,12 KW ( $1\frac{1}{2}$ HP)
Caudal: 0,00832 $\text{m}^3/\text{seg}$	Cabezal: 8,83 mts.
Velocidad: 1150 RPM	CANPr: 1,52 mts.
$\text{Ø}$ de succión: 63 mm.	Velocidad de succión: 2,69 $\text{m}/\text{seg}$
$\text{Ø}$ de descarga: 63 mm.	Velocidad de descarga: 2,69 $\text{m}/\text{seg}$
$\text{Ø}$ impulsor: 228,6 mm.	Eficiencia: 63 %

Tabla 21. Características de la bomba ( $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times 9\frac{1}{2}$  1150 RPM)

Además, se requiere calcular la carga de aspiración neta positiva que nos indica una medición de las condiciones de succión de la bomba, para asegurar que no exista cavitación dentro de la tubería ya que esto puede provocar reducción de la eficiencia, así como daño estructural a la bomba.

En realidad existen dos valores de interés de la carga de aspiración neta positiva. El primero es la carga de aspiración neta positiva requerida, que es necesario mantener, o exceder, de modo que no ocurra cavitación y es dado por el fabricante de la bomba. El segundo es la carga de aspiración neta positiva disponible que representa la carga que realmente ocurre en el sistema y es calculado si se conocen los parámetros del sistema.

$$\text{CANP}_D = \frac{P_{\text{atm.}}}{\gamma} - H_{\text{es}} - \sum h_f - \frac{P_v}{\gamma} \quad (4.9)$$

De la ecuación (4.6) se determina la sumatoria de la pérdida por fricción en la tubería de succión.

$$h_f = f \cdot \left( \frac{L_t}{D_i} \right) \cdot \left( \frac{V_s^2}{2 \cdot g} \right) \quad (4.6)$$

$V_s$ : 2,69 mt/seg

$L$ : 3 mt.

$D_i$ : 62,712 mm. (2,468 in.)

VÁLVULAS Y ACCESORIOS	Longitud equivalente (mt.)	Cantidad	Longitud equivalente total (mt.)
Codo 90° Ø 75 mm.	2,44	2	4,88
<b>TOTAL (mt.)</b>			<b>4,88</b>

Tabla 22. Longitud equivalente de accesorios (succión TF H20)

La longitud total es la suma de la longitud de tubería y la longitud equivalente de los accesorios, que es 7,88 mts.

De acuerdo a la ecuación 4.5 se calcula el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot V_s \cdot D_i}{\mu} \quad (4.5)$$

$$Re = \frac{(994,9) \cdot (2,69) \cdot (0,0627)}{0,000762} = 220213,67$$

Para calcular el factor de fricción, se necesita del número de reynold y de la rugosidad relativa que es determinado del apéndice H, para una tubería de acero galvanizado de diámetro de 63 mm.

$$e/D:0,0024$$

El factor de fricción es determinado del diagrama de Moody del apéndice I con el numero de Reynolds y la rugosidad relativa.

$$f: 0,0253$$

La pérdida por fricción en la tubería de succión es:

$$h_f = (0,0253) \cdot \left( \frac{7,88}{0,0627} \right) \cdot \left( \frac{(2,69)^2}{2 \cdot 9,8} \right) = 1,17\_mt.$$

Para determinar la  $CANP_D$ , Los datos son:

$P_{atm.}/\gamma$  :10,34 mts. De H<sub>2</sub>O

Hes: -2,45 mt.

$h_f$  : 1,17 mts. de H<sub>2</sub>O

$P_v/\gamma$  : 0,51 mts. de H<sub>2</sub>O

La presión de vapor a 32,5 °C es determinado de la tabla de las propiedades físicas del agua en el apéndice D.

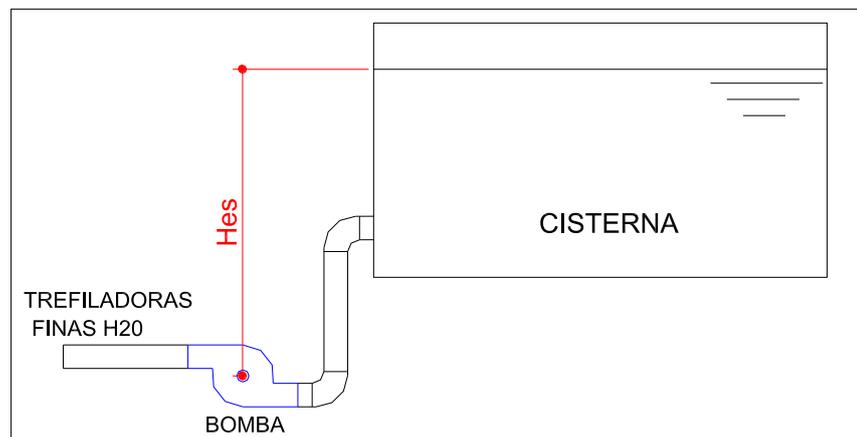


Figura 4.6 Succión de la bomba (Trefiladoras Finas H<sub>2</sub>O)

$$CANP_D = \frac{P_{atm.}}{\gamma} - Hes - \sum h_f - \frac{P_v}{\gamma} \quad (4.9)$$

$$CANP_D = 10,34 + 2,45 - 1,17 - 0,51 = 11,11\_mt$$

De acuerdo las características de la bomba (tabla 21) la  $CANP_R$  es de 1,52 mts., por lo tanto;

$CANP_D$  (11,11 mts.) >  $CANP_R$  (1,52 mts.)

Lo que significa que no habrá cavitación en la tubería.

### **Extrusoras**

La distribución de agua de enfriamiento de las extrusoras continuará siendo por gravedad, por lo tanto no se requiere de bomba.

A continuación se realizará la selección del diámetro de las tuberías.

$Q_t$ : 0,01348  $\text{m}^3/\text{seg}$

$\rho$ : 994,9  $\text{Kg}/\text{m}^3$

$\mu$ : 0,000762  $\text{N}\cdot\text{seg}/\text{m}^2$

Para las extrusoras y el resto de maquinaria se aplicará el mismo procedimiento de selección de diámetro de tuberías, cálculos de velocidad, Reynolds, pérdidas por fricción y caída de presión ya que la aplicación de la ecuación de la energía es igual como todas las asunciones, solo se aplicará las mismas fórmulas anteriores y se presentaran los resultados en las tablas de resumen.

A continuación la figura 4.7 muestra la distribución de tuberías de las extrusoras y tinas de enfriamiento.

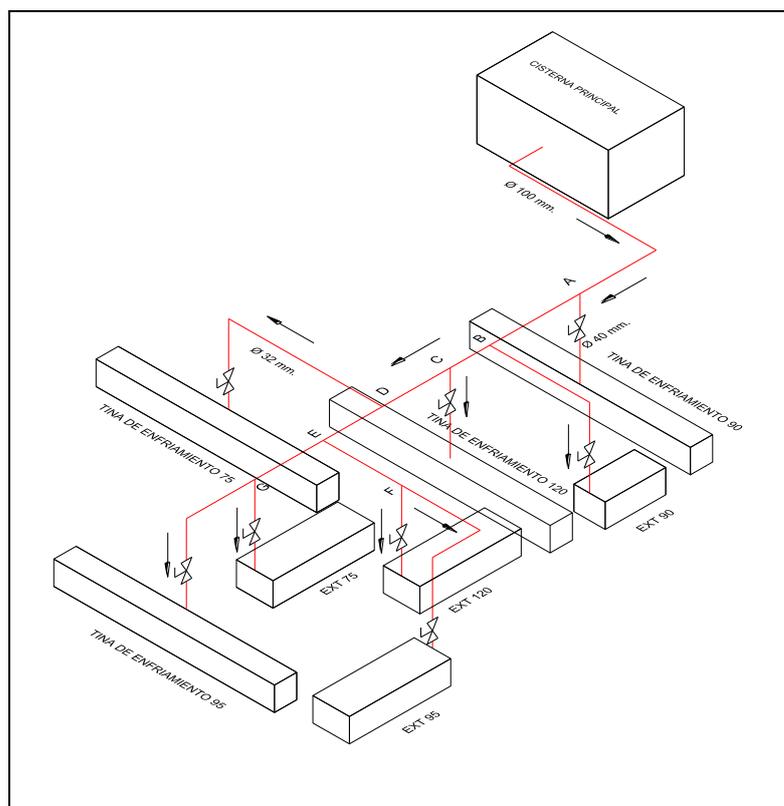


Figura 4.7 Distribución de tuberías (Extrusoras)

Debido a que la distribución de agua de las extrusoras es por gravedad, la tubería a seleccionar será de PVC, lo que significa que se utilizará la tabla de pérdidas por fricción para tuberías plásticas en el apéndice F. Además que el diámetro interno de las tuberías de plástico es el mismo que las tuberías de acero de cédula 40, por lo tanto el diámetro interno de las tuberías de plástico se puede determinar del apéndice G, por otra parte las tuberías plásticas se denominan lisas y la rugosidad relativa es cero.

La tabla 23 determina las longitudes equivalentes de los accesorios y válvulas de la distribución de tuberías de agua de enfriamiento.

VÁLVULAS Y ACCESORIOS	Longitud equivalente (mt.)	Cantidad	Longitud equivalente total (mt.)
Tee (flujo línea principal) Ø 100 mm.	2,13	2	4,27
Tee (flujo línea principal) Ø 75 mm.	1,83	2	3,66
Tee (flujo línea principal ) Ø 50 mm.	1,22	2	2,44
Tee (flujo línea principal ) Ø 40 mm.	0,91	1	0,91
Tee (flujo por ramal) Ø 100 mm.	6,71	1	6,71
Tee (flujo por ramal) Ø 50 mm.	3,66	3	10,97
Tee (flujo por ramal) Ø 63 mm.	4,27	1	4,27
Tee (flujo por ramal) Ø 40 mm.	2,74	2	5,49
Tee (flujo por ramal) Ø 32 mm.	2,32	1	2,32
Válvula de compuerta Ø 100 mm.	0,70	1	0,70
Válvula de compuerta Ø 32 mm.	0,24	1	0,24
Válvula de compuerta Ø 50 mm.	0,37	4	1,46
Válvula de compuerta Ø 40 mm.	0,30	3	0,91
Codo 90° Ø 100 mm.	3,05	1	3,05
Codo 90° Ø 50 mm.	1,68	3	5,03
Codo 90° Ø 40 mm.	1,31	1	1,31
Codo 90° Ø 32 mm.	1,07	1	1,07
<b>TOTAL (mt.)</b>			<b>54,81</b>

Tabla 23. Longitudes equivalentes por accesorios (Extrusoras)

La tabla 24 muestra la longitud total por tuberías y por accesorios de la distribución de tuberías de las extrusoras.

<b>LONGITUDES TOTALES EQUIVALENTES (mt.)</b>						
Tramos de Tubería	Longitud de tubería (mt.)	Tee (flujo línea principal)	Tee (flujo por ramal)	Válvula de compuerta	Codo 90°	<b>TOTAL (mt.)</b>
Cisterna - punto A (Ø 100 mm.)	50,80	0,00	6,71	0,70	3,05	<b>61,26</b>
punto A - TE 90 (Ø 40 mm.)	2,75	0,00	2,74	0,30	0,00	<b>5,79</b>
punto A - punto B (Ø 100 mm.)	1,50	2,13	0,00	0,00	0,00	<b>3,63</b>
punto B - EXT 90 (Ø 50 mm.)	4,75	0,00	3,66	0,37	1,68	<b>10,46</b>
punto B - punto C (Ø 100 mm.)	3,50	2,13	0,00	0,00	0,00	<b>5,63</b>
punto C - TE 120 (Ø 50 mm.)	2,75	0,00	3,66	0,37	0,00	<b>6,78</b>
punto C - punto D (Ø 75 mm.)	3,00	1,83	0,00	0,00	0,00	<b>4,83</b>
punto D - TE 75 (Ø 32 mm.)	6,00	0,00	2,32	0,24	1,07	<b>9,63</b>
punto D - punto E (Ø 75 mm.)	0,80	1,83	0,00	0,00	0,00	<b>2,63</b>
punto E - punto F (Ø 63 mm.)	2,50	0,00	4,27	0,00	0,00	<b>6,77</b>
punto F - EXT 120 (Ø 50 mm.)	2,75	0,00	3,66	0,37	0,00	<b>6,78</b>
punto F - EXT 95 (Ø 50 mm.)	4,15	1,22	0,00	0,37	3,35	<b>9,09</b>
punto E - punto G (Ø 50 mm.)	2,00	1,22	0,00	0,00	0,00	<b>3,22</b>
punto G - EXT 75 (Ø 40 mm.)	2,75	0,00	2,74	0,30	0,00	<b>5,79</b>
punto G - TE 95 (Ø 40 mm.)	3,95	0,91	0,00	0,30	1,31	<b>6,47</b>

Tabla 24. Longitud total por ramal (Extrusoras)

El resumen de los cálculos de la distribución de tuberías se presenta en la tabla 25.

Tramos de tubería	Longitud total equivalente (mt.)	Caudal (mt. <sup>3</sup> /seg.)	Diámetro interno (mm.)	Velocidad (mt./seg.)	Reynold (Re)	Rugosidad relativa (e/D)	Factor de fricción (f)	Pérdida por fricción (mt.)	Caída de presión (Pa)
Cisterna - punto A	61,26	0,01348	102,26	1,64	219088,87	0	0,015	1,26	12325,00
punto A - TE 90	5,79	0,00146	40,89	1,11	59321,30	0	0,020	0,18	1748,37
punto A - punto B	3,63	0,01202	102,26	1,46	195370,64	0	0,016	0,06	593,95
punto B - EXT 90	10,46	0,00187	52,50	0,86	59150,78	0	0,020	0,15	1485,36
punto B - punto C	5,63	0,01015	102,26	1,24	165002,68	0	0,016	0,07	679,29
punto C - TE 120	6,78	0,00235	52,50	1,08	74292,32	0	0,019	0,15	1444,99
punto C - punto D	4,83	0,00780	77,93	1,64	166471,74	0	0,016	0,14	1338,29
punto D - TE 75	9,63	0,00062	35,05	0,65	29622,17	0	0,024	0,14	1348,38
punto D - punto E	2,63	0,00718	77,93	1,51	153147,98	0	0,016	0,06	627,12
punto E - punto F	6,77	0,00434	62,71	1,41	115143,54	0	0,017	0,19	1855,23
punto F - EXT 120	6,78	0,00240	52,50	1,11	75989,49	0	0,019	0,15	1504,97
punto F - EXT 95	9,09	0,00194	52,50	0,90	61547,72	0	0,020	0,14	1385,19
punto E - punto G	3,22	0,00284	52,50	1,31	89774,87	0	0,018	0,10	962,91
punto G - EXT 75	5,79	0,00138	40,89	1,05	55935,85	0	0,020	0,16	1574,61
punto G - TE 95	6,47	0,00146	40,89	1,11	59321,30	0	0,020	0,20	1953,71
<b>TOTAL</b>	<b>148,76</b>							<b>3,16</b>	<b>30827,37</b>

Tabla 25. Resultados por ramal de tubería (Extrusoras)

Como la pérdida por fricción máxima en tuberías es de 0,045 mts. por cada metro de longitud, para la longitud total de tubería de las extrusoras;

$$\frac{0,045 \text{ _ mts. _ deH}_2\text{O}}{\text{mt.}} \cdot (93,95 \text{ _ mt}) = 4,22 \text{ _ mts. _ deH}_2\text{O}$$

El total de las pérdidas por fricción en la distribución de las extrusoras es de 3,16 mts. de H<sub>2</sub>O, lo que significa que;

$$4,22 \text{ mts. de H}_2\text{O} > 3,16 \text{ mts. de H}_2\text{O}$$

Como es mayor, esto indica que esta dentro del rango permitido.

También, la caída de presión por fricción máxima en tuberías es de 452,41 Pa por cada metro de longitud, para la longitud equivalente de las extrusoras;

$$\frac{452,41 \text{ Pa}}{\text{mt.}} \cdot (93,95 \text{ mt}) = 42503,91 \text{ Pa}$$

La caída de presión por fricción en la distribución de las extrusoras es de 30827,37 Pa, lo que significa que;

$$42503,91 \text{ Pa} > 30827,37 \text{ Pa}$$

Como es mayor, esto indica que también esta dentro del rango permitido.

Para la velocidad del agua de 2,69 mt/seg por la tubería de diámetro nominal de 100 mm. se calcula la altura del nivel de agua en la cisterna principal para la cual será ubicada la tubería de distribución principal de las extrusoras.

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4.10)$$

$$\frac{V^2}{2 \cdot g} = h \quad (\text{Despejando } h)$$

$$h = \frac{(1,64)^2}{2 \cdot 9,8} = 0,14 \text{ mts.}$$

### Trefiladora J21

La distribución de agua de la trefiladora J21 será rediseñada, con nueva selección de tuberías y bomba centrífuga.

$Q_t$ : 0,0041  $\text{m}^3/\text{seg}$

$\rho$ : 994,9  $\text{Kg}/\text{m}^3$

$\mu$ : 0,000762  $\text{N}\cdot\text{seg}/\text{m}^2$

En la figura 4.8 se muestra la distribución de las tuberías.

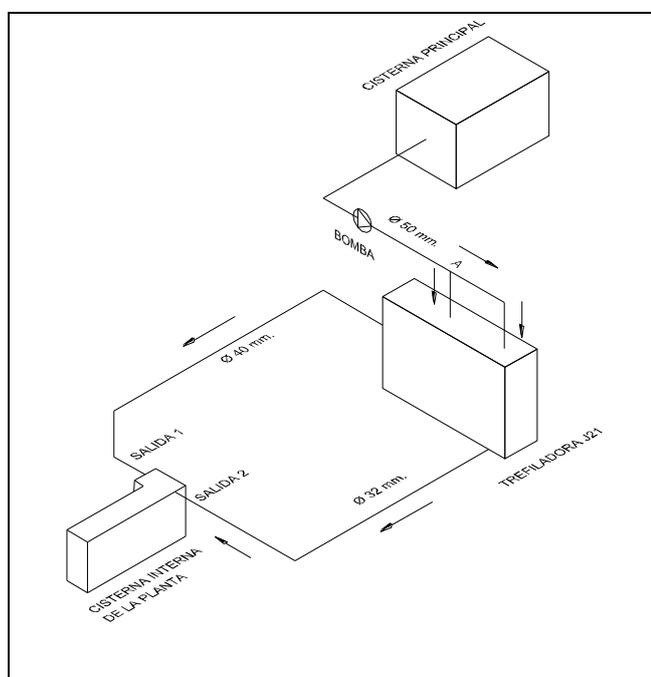


Figura 4.8 Distribución de tuberías (Trefiladora J21)

Para la Trefiladora J21, las longitudes equivalentes por accesorios para la distribución de tuberías se muestran en la tabla siguiente.

VÁLVULAS Y ACCESORIOS	Longitud equivalente (mt.)	Cantidad	Longitud equivalente total (mt.)
Tee (flujo línea principal) Ø 32 mm.	0,91	1	0,91
Tee (flujo por ramal) Ø 40 mm.	2,74	1	2,74
Válvula de compuerta (Ø 32 mm.)	0,24	1	0,24
Válvula de retención (Ø 50 mm.)	3,96	1	3,96
Codo 90° (Ø 40 mm.)	1,31	3	3,93
Codo 90° (Ø 32 mm.)	1,06	5	5,30
Intercambiador de calor (Ø 40 mm.)	5,00	1	5,00
Intercambiador de calor (Ø 32 mm.)	4,00	1	4,00
<b>TOTAL (mt.)</b>			<b>26,08</b>

Tabla 26. Longitudes equivalentes por accesorios (Trefiladora J21)

Los ramales de distribución de agua de enfriamiento de la trefiladora J21 se ramifican para dos intercambiadores de calor, una de placas para el enfriamiento de trocadores y la otra de tubo y carcaza para el enfriamiento del aceite óleo hidráulico. En la tabla 27 se muestra las longitudes totales por cada ramal de distribución.

LONGITUDES TOTALES EQUIVALENTES (mt.)			
ACCESORIOS Y TUBERÍAS	Bomba - punto A (Ø 50 mm.)	punto A - salida 1 (Ø 40 mm.)	punto A - salida 2 (Ø 32 mm.)
Longitud de tubería (mt.)	15,00	18,00	22,00
Tee (flujo línea principal)	0,00	0,00	0,91
Tee (flujo por ramal)	0,00	2,74	0,00
Válvula de compuerta	0,00	0,00	0,24
Válvula de retención	3,96	0,00	0,00
Codo 90°	0,00	1,31	1,06
Intercambiador de calor	0,00	5,00	4,00
<b>TOTAL (mt.)</b>	<b>18,96</b>	<b>27,05</b>	<b>28,21</b>

Tabla 27. Longitud total por ramal (Trefiladora J21)

Tramos de tuberías	Longitud total equivalente (mt.)	Caudal (mt. <sup>3</sup> /seg.)	Diámetro interno (mm.)	Velocidad (mt./seg.)	Reynold (Re)	Rugosidad relativa (e/D)	Factor de fricción (f)	Pérdida por fricción (mt.)	Caida de presión (Pa)
Bomba - punto A	18,96	0,00410	52,502	1,91	130928,34	0,0029	0,027	1,81	17694,67
punto A - salida 1	27,05	0,00284	40,894	2,22	118532,39	0,0040	0,029	4,87	47514,99
punto A - salida 2	28,21	0,00126	35,052	1,83	83750,68	0,0048	0,032	4,33	42233,05
<b>TOTAL</b>								<b>11,02</b>	<b>107442,71</b>

Tabla 28. Resultados por ramal de tubería (Trefiladora J21)

Como la pérdida por fricción máxima en tuberías es de 0,045 mts. por cada metro de longitud, para la longitud total de tubería de la trefiladora J21;

$$\frac{0,045 \text{ _ mts. _ deH}_2\text{O}}{\text{mt.}} \cdot (55 \text{ _ mt}) = 2,47 \text{ _ mts. _ deH}_2\text{O}$$

El total de las pérdidas por fricción en la distribución de la trefiladora J21 es de 11,02 mts. de H<sub>2</sub>O, lo que significa que;

$$2,47 \text{ mts. de H}_2\text{O} < 11,02 \text{ mts. de H}_2\text{O}$$

Como es menor, esto indica que esta fuera del rango permitido.

Igual que el caso de las Trefiladoras Finas la distribución de agua para este ramal se le agrega energía al fluido, ya que la cisterna esta sobre las maquinas y el agua fluye por gravedad y ayuda a la bomba a circular el agua, por lo tanto a pesar de la gran pérdida por fricción no se requerirá de una bomba más grande.

En la ecuación de la energía, la altura estática de la bomba es negativa, debido a que la cisterna esta sobre la bomba y las maquinas

De acuerdo a la ecuación de la energía 4.2 se determina el cabezal de la bomba.

Hes: 1,25 mt.

Hed: 4,00 mt.

$$H_{et} = H_{es} + H_{ed} \quad (4.8)$$

$$H_{et} = 1,25 + 4,00 = 5,25 \text{ mt.}$$

$$h_p = (z_2 - z_1) + h_f \quad (4.2)$$

$$h_p = -5,25 + 11,02 = 5,77 \text{ mt.}$$

La bomba centrífuga a seleccionar es de la marca Bell & Gossett de la serie 80 y las curvas de selección son del apéndice J.

Diámetro nominal de descarga de tubería: 50 mm. (Ø2")

Caudal: 0,0041 m<sup>3</sup>/seg (65 GPM)

Cabezal: 5,77 mt. (18,93 ft.)

A continuación se resume las características de la bomba seleccionada en la tabla 29.

Características de la Bomba seleccionada (Trefiladora J21)	
Modelo: 2x2x7	Potencia: 0,56 KW (3/4 HP)
Caudal: 0,0041 mt <sup>3</sup> /seg	Cabezal: 8,24 mts.
Velocidad: 1150 RPM	CANPr: 1,52 mts.
Ø de succión: 50 mm.	Velocidad de succión: 1,91 mt/seg
Ø de descarga: 50 mm.	Velocidad de descarga: 1,91 mt/seg
Ø impulsor: 177,8 mm.	Eficiencia: 55 %

Tabla 29. Características de la bomba (2 x 2 x 7 1150 RPM)

Para el cálculo de carga de aspiración neta positiva, de la ecuación (4.6) se determina la sumatoria de la pérdida por fricción en la tubería de succión.

$$h_f = f \cdot \left( \frac{L_t}{D_i} \right) \cdot \left( \frac{V_s^2}{2 \cdot g} \right) \quad (4.6)$$

$V_s$ : 1,91 mt/seg

$L_t$ : 5 mt.

$D_i$ : 52,502 mm. (2,067 in.)

De acuerdo a la ecuación 4.5 se calcula el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot V_s \cdot D_i}{\mu} \quad (4.5)$$

$$Re = \frac{(994,9) \cdot (1,91) \cdot (0,0525)}{0,000762} = 125964,13$$

Para calcular el factor de fricción, se necesita del número de Reynold y de la rugosidad relativa que es determinado del apéndice H, para una tubería de acero galvanizado de diámetro de 50 mm.

$e/D:0,0029$

El factor de fricción es determinado del diagrama de Moody del apéndice I con el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

$f: 0,027$

La pérdida por fricción en la tubería de succión es:

$$h_f = (0,027) \cdot \left( \frac{5}{0,0525} \right) \cdot \left( \frac{(1,91)^2}{2 \cdot 9,8} \right) = 0,48\_mt.$$

Para determinar la  $CANP_D$ , Los datos son:

$P_{atm}/\gamma : 10,34$  mts. De H<sub>2</sub>O

$H_{es} : -1,25$  mt.

$h_f : 0,48$  mts. de H<sub>2</sub>O

$P_v/\gamma : 0,51$  mts. de H<sub>2</sub>O

La presión de vapor a 32,5 °C es determinado de la tabla de las propiedades físicas del agua en el apéndice D.

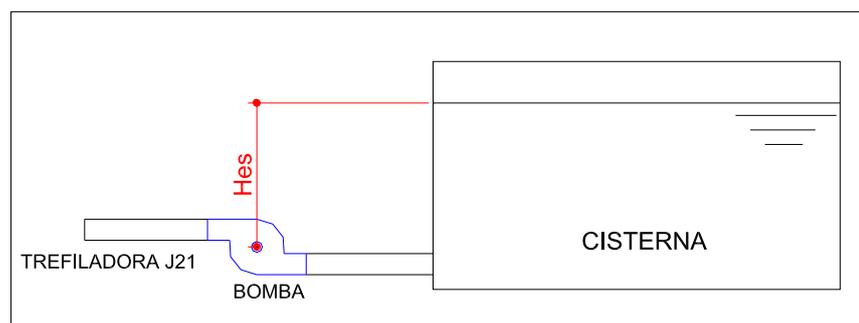


Figura 4.9 Succión de la bomba (Trefiladora J21)

$$\text{CANP}_D = \frac{P_{\text{atm.}}}{\gamma} - H_{\text{es}} - \sum h_f - \frac{P_v}{\gamma} \quad (4.9)$$

$$\text{CANP}_D = 10,34 + 1,25 - 0,48 - 0,51 = 10,6_{\text{ mt}}$$

De acuerdo las características de la bomba (tabla 29) la  $\text{CANP}_R$  es de 1,52 mts., por lo tanto;

$$\text{CANP}_D (10,6 \text{ mts.}) > \text{CANP}_R (1,52 \text{ mts.})$$

Lo que significa que no habrá cavitación en la tubería.

### **Trefiladoras Intermedia y Monoblock**

Debido a que este ramal de tuberías cumple con el caudal requerido, tan solo se verificará si cumple con los parámetros permitidos de acuerdo a la tabla 17.

Como la distribución de agua es por gravedad para estas trefiladoras la tubería de distribución es de PVC, por lo tanto se utilizará la tabla de pérdidas por fricción para tuberías plásticas del apéndice F.

$$Q_t: 0,0065 \text{ mt}^3/\text{seg}$$

$$\rho: 994,9 \text{ Kg/mt}^3$$

$$\mu: 0,000762 \text{ N.seg/mt}^2$$

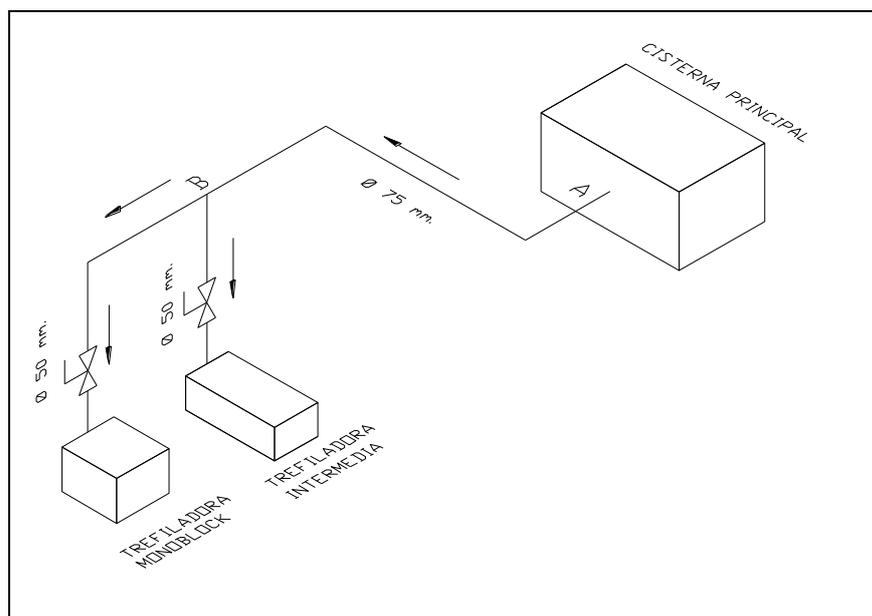


Figura 4.10 Distribución de tuberías (Tref. Intermedia y Monoblock)

VÁLVULAS Y ACCESORIOS	Longitud equivalente (mt.)	Cantidad	Longitud equivalente total (mt.)
Tee (flujo línea principal) $\varnothing 50 \text{ mm.}$	1,22	1	1,22
Tee (flujo por ramal) $\varnothing 75 \text{ mm.}$	5,18	1	5,18
Tee (flujo por ramal) $\varnothing 50 \text{ mm.}$	3,66	1	3,66
Válvula de compuerta $\varnothing 50 \text{ mm.}$	0,37	2	0,74
Codo $90^\circ \varnothing 75 \text{ mm.}$	2,44	1	2,44
Codo $90^\circ \varnothing 50 \text{ mm.}$	1,68	1	1,68
<b>TOTAL (mt.)</b>			<b>14,92</b>

Tabla 30. Longitudes equivalentes por accesorios (Tref. I. y M.)

ACCESORIOS Y TUBERÍAS	LONGITUDES TOTALES EQUIVALENTES (mt.)		
	punto A - punto B ( $\varnothing 75 \text{ mm.}$ )	punto B - Tref. Intermedia ( $\varnothing 50 \text{ mm.}$ )	punto B - Tref. Monoblock ( $\varnothing 50 \text{ mm.}$ )
Longitud de tubería (mt.)	26,70	2,50	5,50
Tee (flujo línea principal)	0,00	0,00	1,22
Tee (flujo por ramal)	5,18	3,66	0,00
Válvula de compuerta	0,00	0,37	0,37
Codo $90^\circ$	2,44	0,00	1,68
<b>TOTAL (mt.)</b>	<b>34,32</b>	<b>6,53</b>	<b>8,77</b>

Tabla 31. Longitud total por ramal (Tref. Intermedia y Monoblock)

Tramos de tubería	Longitud total equivalente (mt.)	Caudal (mt. <sup>3</sup> /seg.)	Diámetro interno (mm.)	Velocidad (mt./seg.)	Reynold (Re)	Rugosidad relativa (e/D)	Factor de fricción (f)	Pérdida por fricción (mt.)	Caída de presión (Pa)
punto A - punto B	34,32	0,00645	77,927	1,35	137683,70	0	0,0168	0,69	6757,58
punto B - Tref. Intermedia	6,53	0,00329	52,502	1,52	104277,76	0	0,0178	0,26	2552,85
punto B - Tref. Monoblock	8,77	0,00316	52,502	1,46	100082,33	0	0,0180	0,33	3185,86
<b>TOTAL</b>	<b>49,62</b>							<b>1,28</b>	<b>12496,29</b>

Tabla 32. Resultados por ramal de tubería (Tref. I. y M.)

Como la pérdida por fricción máxima en tuberías es de 0,045 mts. por cada metro de longitud, para la longitud total de las trefiladoras intermedia y monoblock;

$$\frac{0,045 \text{ _ mts. _ deH}_2\text{O}}{\text{mt.}} \cdot (34,7 \text{ _ mt}) = 1,56 \text{ _ mts. _ deH}_2\text{O}$$

El total de las pérdidas por fricción en la distribución de las trefiladoras intermedia y monoblock es de 1,28 mts. de H<sub>2</sub>O, lo que significa que;

$$1,56 \text{ mts. de H}_2\text{O} > 1,28 \text{ mts. de H}_2\text{O}$$

Como es mayor, esto indica que esta dentro del rango permitido.

También, la caída de presión por fricción máxima en tuberías es de 452,41 Pa por cada metro de longitud, para la longitud equivalente de las trefiladoras intermedia y monoblock;

$$\frac{452,41 \text{ _ Pa}}{\text{mt.}} \cdot (34,7 \text{ _ mt}) = 15698,62 \text{ _ Pa}$$

La caída de presión por fricción en la distribución de las trefiladoras intermedia y monoblock es de 12496,29 Pa, lo que significa que;

$$15698,62 \text{ Pa} > 12496,29 \text{ Pa}$$

Como es mayor, esto indica que también esta dentro del rango permitido.

Para la velocidad del agua de 1,35 mt/seg por la tubería de diámetro nominal de 75 mm. se calcula la altura del nivel de agua en la cisterna principal para la cual será ubicada la tubería de distribución principal de las trefiladoras monoblock e intermedia.

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4.10)$$

$$\frac{V^2}{2 \cdot g} = h \quad (\text{Despejando } h)$$

$$h = \frac{(1,35)^2}{2 \cdot 9,8} = 0,10 \text{ mts.}$$

### **Inyectoras**

Debido a que este ramal de tuberías también cumple con el caudal requerido, tan solo se verificará si cumple con los parámetros permitidos de acuerdo a la tabla 17.

$$Q_t: 0,00158 \text{ mt}^3/\text{seg}$$

$$\rho: 994,9 \text{ Kg}/\text{mt}^3$$

$$\mu: 0,000762 \text{ N}\cdot\text{seg}/\text{mt}^2$$

La distribución de las tuberías de las inyectoras se puede observar de la figura 4.11.

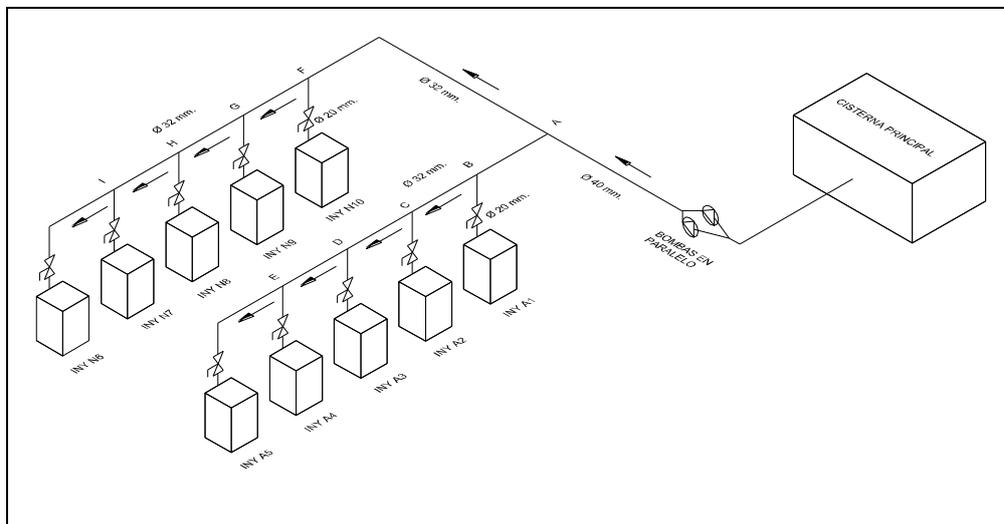


Figura 4.11 Distribución de tuberías (inyectoras)

VÁLVULAS Y ACCESORIOS	Longitud equivalente (mt.)	Cantidad	Longitud equivalente total (mt.)
Tee (flujo línea principal) Ø 32 mm.	0,91	7	6,37
Tee (flujo línea principal) Ø 20 mm.	0,61	2	1,22
Tee (flujo por ramal) Ø 32 mm.	2,32	1	2,32
Tee (flujo por ramal) Ø 20 mm.	1,37	8	10,96
Válvula de retención Ø 40 mm.	3,35	2	6,70
Válvula de compuerta Ø 20 mm.	0,15	10	1,50
Codo 90° Ø 32 mm.	1,07	1	1,07
Codo 90° Ø 20 mm.	0,61	2	1,22
<b>TOTAL (mt.)</b>			<b>31,36</b>

Tabla 33. Longitudes equivalentes por accesorios (Inyectoras)

LONGITUDES TOTALES EQUIVALENTES (mt.)							
Tramos de tuberías	Longitud de tubería (mt.)	Tee (flujo línea principal)	Tee (flujo por ramal)	Válvula de retención	Valvula de compuerta	Codo 90°	TOTAL (mt.)
Bombas - punto A (Ø 40 mm.)	25,00	0,00	0,00	6,71	0,00	0,00	<b>31,71</b>
punto A - punto B (Ø 32 mm.)	6,50	0,00	2,32	0,00	0,00	0,00	<b>8,82</b>
punto B - punto C (Ø 32 mm.)	2,70	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>3,61</b>
punto C - punto D (Ø 32 mm.)	2,70	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>3,61</b>
punto D - punto E (Ø 32 mm.)	2,70	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>3,61</b>
punto B - INY A1 (Ø 20 mm.)	3,00	0,00	1,37	0,00	0,15	0,00	<b>4,52</b>
punto C - INY A2 (Ø 20 mm.)	3,00	0,00	1,37	0,00	0,15	0,00	<b>4,52</b>
punto D - INY A3 (Ø 20 mm.)	3,00	0,00	1,37	0,00	0,15	0,00	<b>4,52</b>
punto E - INY A4 (Ø 20 mm.)	3,00	0,00	1,37	0,00	0,15	0,00	<b>4,52</b>
punto E - INY A5 (Ø 20 mm.)	5,70	0,61	0,00	0,00	0,15	0,61	<b>7,07</b>
punto A - punto F (Ø32 mm.)	12,00	0,91	0,00	0,00	0,00	1,07	<b>13,98</b>
punto F - punto G (Ø 32 mm.)	2,70	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>3,61</b>
punto G - punto H (Ø 32 mm.)	2,70	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>3,61</b>
punto H - punto I (Ø 32 mm.)	2,70	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>3,61</b>
punto F - INY N6 (Ø 20 mm.)	3,00	0,00	1,37	0,00	0,15	0,00	<b>4,52</b>
punto G - INY N7 (Ø 20 mm.)	3,00	0,00	1,37	0,00	0,15	0,00	<b>4,52</b>
punto H - INY N8 (Ø 20 mm.)	3,00	0,00	1,37	0,00	0,15	0,00	<b>4,52</b>
punto I - INY N9 (Ø 20 mm.)	3,00	0,00	1,37	0,00	0,15	0,00	<b>4,52</b>
punto I - INY N10 (Ø 20 mm.)	5,70	0,61	0,00	0,00	0,15	0,61	<b>7,07</b>

Tabla 34. Longitud total por ramal (Inyectoras)

Tramos de tuberías	Longitud total equivalente (mt.)	Caudal (mt. <sup>3</sup> /seg.)	Diámetro interno (mm.)	Velocidad (mt./seg.)	Reynold (Re)	Rugosidad relativa (e/D)	Factor de fricción (f)	Pérdida por fricción (mt.)	Caída de presión (Pa)
Bomba - punto A	31,71	0,001577	40,894	1,20	64107,18	0,004	0,003	0,17	1668,22
punto A - punto B	8,82	0,000788	35,052	0,82	37372,14	0,0048	0,032	0,27	2671,02
punto B - punto C	3,61	0,000630	35,052	0,65	29883,49	0,0048	0,033	0,07	720,85
punto C - punto D	3,61	0,000473	35,052	0,49	22437,51	0,0048	0,034	0,04	418,69
punto D - punto E	3,61	0,000315	35,052	0,33	14958,34	0,0048	0,035	0,02	191,56
punto B - INY A1	4,52	0,000158	20,930	0,46	12525,80	0,008	0,040	0,09	902,87
punto C - INY A2	4,52	0,000158	20,930	0,46	12525,80	0,008	0,040	0,09	902,87
punto D - INY A3	4,52	0,000158	20,930	0,46	12525,80	0,008	0,040	0,09	902,87
punto E - INY A4	4,52	0,000158	20,930	0,46	12525,80	0,008	0,040	0,09	902,87
punto E - INY A5	7,07	0,000158	20,930	0,46	12525,80	0,008	0,040	0,14	1412,24
punto A - punto F	13,98	0,000788	35,052	0,82	37372,14	0,0048	0,032	0,43	4233,65
punto F - punto G	3,61	0,000630	35,052	0,65	29883,49	0,0048	0,033	0,07	720,85
punto G - punto H	3,61	0,000473	35,052	0,49	22437,51	0,0048	0,034	0,04	418,69
punto H - punto I	3,61	0,000315	35,052	0,33	14958,34	0,0048	0,035	0,02	191,56
punto F - INY N6	4,52	0,000158	20,930	0,46	12525,80	0,008	0,040	0,09	902,87
punto G - INY N7	4,52	0,000158	20,930	0,46	12525,80	0,008	0,040	0,09	902,87
punto H - INY N8	4,52	0,000158	20,930	0,46	12525,80	0,008	0,040	0,09	902,87
punto I - INY N9	4,52	0,000158	20,930	0,46	12525,80	0,008	0,040	0,09	902,87
punto I - INY N10	7,07	0,000158	20,930	0,46	12525,80	0,008	0,040	0,14	1412,24
<b>TOTAL</b>	<b>126,47</b>							<b>2,18</b>	<b>21282,56</b>

Tabla 35. Resultados por ramal de tubería (Inyectoras)

Como la pérdida por fricción máxima en tuberías es de 0,045 mts. por cada metro de longitud, para la longitud equivalente de las inyectoras;

$$\frac{0,045 \text{ mts. de H}_2\text{O}}{\text{mt.}} \cdot (95,1 \text{ mt}) = 4,28 \text{ mts. de H}_2\text{O}$$

El total de las pérdidas por fricción en la distribución de las inyectoras es de 2,18 mts. de H<sub>2</sub>O, lo que significa que;

$$4,28 \text{ mts. de H}_2\text{O} > 2,18 \text{ mts. de H}_2\text{O}$$

Como es mayor, esto indica que esta dentro del rango permitido.

También, la caída de presión por fricción máxima en tuberías es de 452,41 Pa por cada metro de longitud, para la longitud total de las inyectoras;

$$\frac{452,41 \text{ Pa}}{\text{mt.}} \cdot (95,1 \text{ mt}) = 43024,19 \text{ Pa}$$

La caída de presión por fricción en la distribución de las inyectoras es de 21282,56 Pa, lo que significa que;

$$43024,19 \text{ Pa} > 21282,56 \text{ Pa}$$

Como es mayor, esto indica que también esta dentro del rango permitido.

### **4.3. Dimensionamiento y selección de la torre de enfriamiento**

Una vez que se conoce el caudal requerido por maquina y por ende de todo el sistema, ahora se debe determinar la temperatura de bulbo húmedo a la cual operará la torre de enfriamiento.

De acuerdo al capítulo 2, se determinó la temperatura ambiente promedio de bulbo seco y el gradiente de temperatura del agua de enfriamiento de las maquinas (figuras 2.7 al 2.14) registrando el valor mas alto de la temperatura ambiente durante el día que es de 30,5 °C y con un gradiente de temperatura máximo de 5,5 °C.

Por otro lado la humedad relativa en la ciudad de Guayaquil por lo

general es de 60%, así que con estos datos se determinará la temperatura de bulbo húmedo.

Temperatura de bulbo seco: 30,5 °C (87 °F)

Humedad relativa: 60%

Temperatura de bulbo húmedo: 24,44 °C (76 °F)

Además se sabe que la temperatura de entrada del agua de enfriamiento de las maquinas de producción de las inyectoras y extrusoras es de 27 °C y para las trefiladoras de 30 °C de las tablas 14 al 16, pero se tomará como referencia la más baja temperatura que es 27 °C.

Si el gradiente máximo de temperatura es 5,5 °C y la temperatura de entrada es de 27 °C, la temperatura final del agua será de 32,5 °C.

Por lo tanto;

Temperatura de entrada: 27 °C (80,6 °F ~ 81 °F)

Temperatura de salida: 32,5 °C (90,5 °F ~ 91 °F)

Diferencia de temperatura: 5,5 °C (10 °F)

Temperatura de bulbo húmedo: 24,44 °C (76 °F)

A continuación en la tabla 36 se resume el caudal de agua de enfriamiento para la nueva selección de la torre de enfriamiento.

<b>Maquinaria de Producción</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/seg)</b>
Trefiladora Fina H20 A	0,00278
Trefiladora Fina H20 B	0,00278
Trefiladora Fina H20 C	0,00278
Trefiladora J21	0,00410
Trefiladora Intermedia	0,00330
Trefiladora Monoblock	0,00320
Inyectoras	0,00158
Extrusora 90	0,00187
Tina de Enfriamiento EXT 90	0,00146
Extrusora 120	0,00240
Tina de Enfriamiento EXT 120	0,00235
Extrusora 75	0,00138
Tina de Enfriamiento EXT 75	0,00062
Extrusora 95	0,00194
Tina de Enfriamiento EXT 95	0,00146
<b>TOTAL</b>	<b>0,03400</b>

Tabla 36. Caudal de agua de enfriamiento requerido en la planta

Para determinar el perfil de carga promedio de la planta, el departamento de producción de la planta prestó su ayuda para determinar un estimado del tiempo de operación de las maquinas en un día normal de producción, lo cual nos indicaron que en el primer turno de trabajo (8 A.M. a 8P.M.) operan el 100% de las maquinas de producción, aunque las trefiladoras finas operan a partir de 10:00 A.M. debido a que la trefiladora J21 por ser una adquisición usada demora en operar y debe de abastecer de canastillas de alambre a las trefiladoras finas H20 y en el segundo turno (8 P.M. a 8 A.M.) no opera la trefiladora J21, extrusora 120, extrusora 75 y dependiendo de la producción de cables de aluminio, la trefiladora monoblock.

Lo cual indica que en promedio hay al menos tres cargas representativas durante un día de producción con caudales de:

- ❖ 0,02566 mt<sup>3</sup>/seg (406,72 GPM) (75,47%) 8:00 A.M. - 10:00 A.M.
- ❖ 0,034 mt<sup>3</sup>/seg (538,91 GPM) (100,0%) 10:00 A.M. - 8:00 P.M.
- ❖ 0,01985 mt<sup>3</sup>/seg (314,62 GPM) (58,38%) 8.00 P.M. - 8.00 A.M.

Para determinar la capacidad de enfriamiento y la selección de la torre de enfriamiento, se utiliza el catálogo Evapco del apéndice K, lo cual establece que para seleccionar una torre de enfriamiento se debe de calcular la carga nominal a partir de la fórmula 4.11.

$$\text{Carga} = \frac{\text{caudal(GPM)} \times \text{Rango}(\text{° F}) \times 500}{15000 \text{ BTU/T R}} \quad (4.11)$$

El cálculo se lo realizará para el 100% de la carga, por lo tanto:

Caudal: 0,034 mt<sup>3</sup>/seg (538,91 GPM)

Rango de temperatura: 5,5 °C (10 °F)

$$\text{Carga} = \frac{(538,91) \times (10) \times 500}{15000} = 179,63 \text{ TR}$$

Luego, se determina el factor de capacidad del apéndice K, que se determina de la tabla de la temperatura de bulbo húmedo 24,44 °C (76 °F), para luego escoger el valor de la intersección de la diferencia de temperatura del agua (columna) 5,5 °C (10°F) y la aproximación (fila) que es la diferencia entre la temperatura de entrada del agua y la temperatura del bulbo húmedo.

Aproximación =  $T_e - T_{wb}$

Aproximación =  $27\text{ °C} - 24,44\text{ °C} = 2,56\text{ °C}$

Aproximación:  $2,56\text{ °C}$  ( $5\text{ °F}$ )

Por lo tanto el factor de capacidad es de 1,29.

Para determinar la carga corregida, se multiplica la carga nominal por el factor de capacidad.

$$(179,63\text{ TR}) \cdot (1,29) = 231,72\text{ TR}$$

Esto significa que la capacidad de enfriamiento requerida para el 100% de la carga es de 231,72 TR.

En la siguiente tabla se resume la capacidad de enfriamiento para el perfil de carga promedio de producción.

<b>Caudal (<math>\text{m}^3/\text{seg}</math>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Toneladas de Refrigeración (TR)</b>
0,034	100	231,72
0,02566	75,47	174,87
0,01985	58,38	135,27

Tabla 37. Toneladas de Refrigeración requerida para perfil de carga

Ahora se presenta el perfil de carga promedio del sistema para un día normal de producción en la planta.



Figura 4.12 Perfil de carga promedio del sistema

También se muestra el porcentaje de carga del sistema para luego determinar que torre de enfriamiento seleccionar.

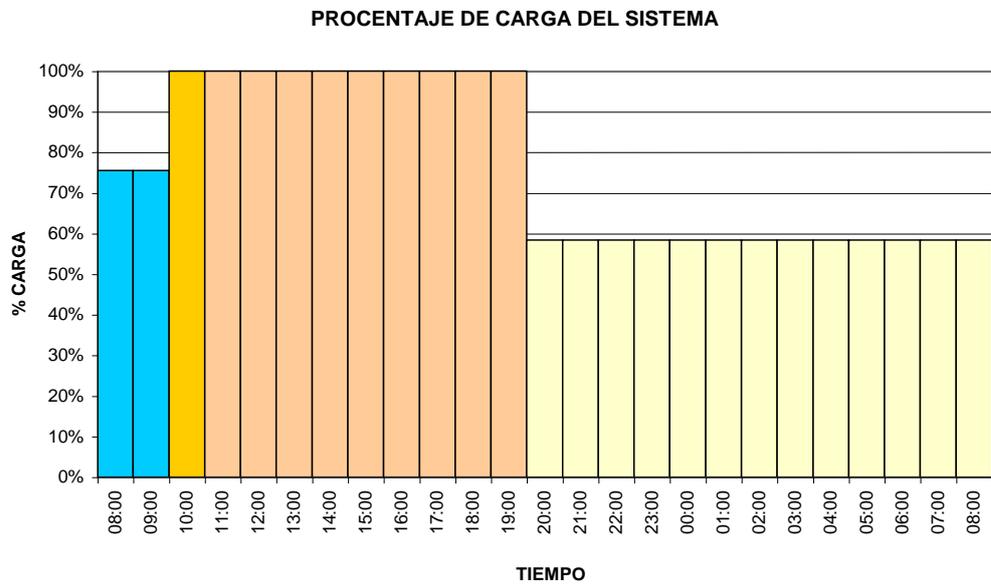


Figura 4.13 Porcentaje de carga del sistema

De acuerdo al porcentaje de la carga del sistema, se observa que en el primer turno la carga (75,47 a 100%) es mayor que en el segundo turno (58,38%), así que para mejorar la capacidad de enfriamiento, reducir costos de operación y facilitar el mantenimiento de la torre de enfriamiento sin detener la producción, se seleccionará dos torres de enfriamiento que operen independientemente.

Para esto también se debe tomar en cuenta que debido al crecimiento de la empresa se debe aumentar la capacidad para cubrir la demanda futura por incremento de las líneas de producción. Para esto se podría seleccionar dos torres de enfriamiento iguales del 60% de capacidad actual, para que el turno de la noche pueda operar normalmente con una de ellas, ya que la carga requerida es del 58,38% de la capacidad actual.

Si la carga al 100% es de 231,72 TR, al 60% de la capacidad requerida es 139,03 TR o lo que daría igual a 140 TR.

Para seleccionar dos torres de enfriamiento de 140 TR cada una, utilizando el apéndice L, con las curvas de capacidad, para 140 TR y caudal de 0,01985 m<sup>3</sup>/seg (314,62 GPM), la torre de enfriamiento seleccionada es el modelo LSTA 4-126.

Las características del equipo se resumen en la tabla siguiente.

Torre de Enfriamiento	
Modelo	LSTA 4-126
Potencia (ventilador)	14,91KW (20HP)
Altura	2,96 mt.
Longitud	3,65 mt.
Diámetro de entrada	152 mm.
Diámetro de salida	152 mm.
Diámetro de reposición	25 mm.
Diámetro de drenaje	50 mm.
Diámetro de sobreflujo	75 mm.

Tabla 38. Características de la Torre de Enfriamiento seleccionada

Las dos torres deben operar para el primer turno, ya que requiere de toda la carga y para el segundo turno tan solo una torre que se puede alternar para efectos de mantenimiento, como se muestra en la figura 4.14.

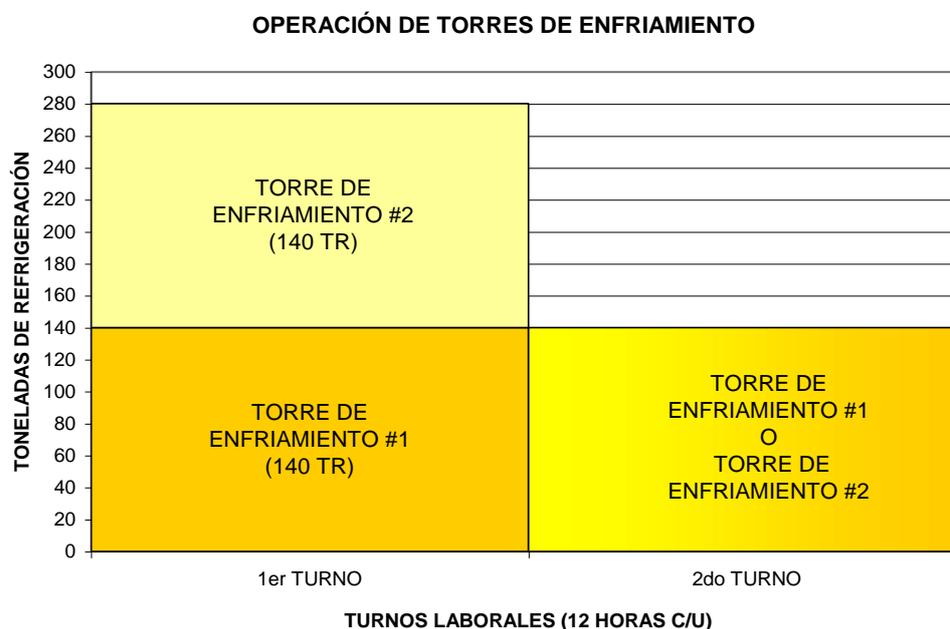


Figura 4.14 Operación de las Torres de Enfriamiento

De acuerdo a las dimensiones de las torres de enfriamiento, para facilitar la operación de los mismos serán ubicados sobre la cisterna principal de la planta, lo cual se detalla en el plano #3 (Posición de las torres de enfriamiento).

#### **4.4. Selección del sistema de bombeo y tratamiento de agua**

Debido a que el sistema de agua de enfriamiento es a caudal variable a lo largo de un día de producción, se puede implementar para el sistema de bombeo de las torres de enfriamiento la instalación de dos bombas centrífugas independientes.

Se seleccionarán dos bombas, una con caudal de operación de 0,01985  $\text{m}^3/\text{seg}$  (314,63 GPM) y la otra bomba con un caudal de 0,01415  $\text{m}^3/\text{seg}$  (224,28 GPM), debido a que ambas sumada dan un caudal de 0,034  $\text{m}^3/\text{seg}$  (538,91 GPM) que es el caudal al 100% de la carga en producción.

Ambas bombas se conectarán a un distribuidor de agua a la salida de las bombas, este dispositivo no es más que un pequeño tramo de tubo sellado de ambos lados y están conectados a las tuberías de salida de las bombas, tiene la finalidad de facilitar el mantenimiento en las torres de enfriamiento derivando el agua a una u otra torre o

ambas a la vez, a continuación en la figura 4.15 se presenta la alternativas de operación del distribuidor de agua.

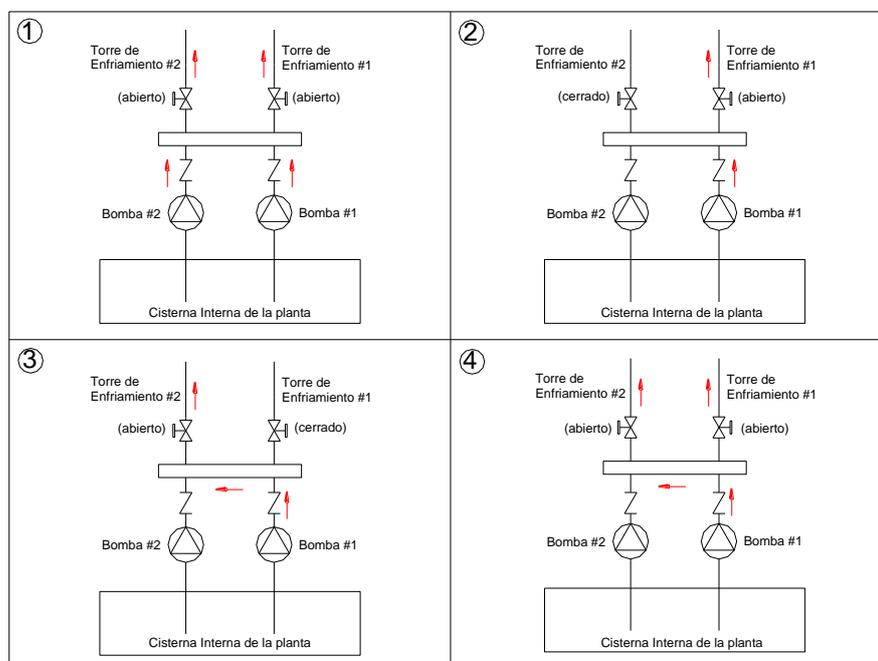


Figura 4.15 Alternativas de operación del distribuidor de agua

El cuadro (1) de la figura 4.15 muestra el momento cuando el sistema requiere operar a plena carga con las dos torres de enfriamiento, se abren las dos válvulas y pueden operar las dos bombas. Mientras que el cuadro (2) muestra el funcionamiento del sistema cuando requiera operar con una torre de enfriamiento como en el segundo turno de la noche, se apaga la bomba #2 y se cierra la válvula de la torre #2 y puede operar una bomba con la torre #1 o como lo muestra el cuadro (3), se cierra la válvula de paso hacia la torre #1 y la bomba #1 puede operar con la torre #2 y por último el

cuadro (4) muestra que también se puede operar las dos torres con una bomba, abriendo ambas válvulas de paso hacia las torres de enfriamiento.

Para ambas bombas la selección de la tubería del sistema de bombeo se determina de acuerdo a los requerimientos de las pérdidas por fricción máxima en tuberías de 0,045 mts. por cada metro de longitud (4,5 ft. por cada 100 ft. de longitud), para tuberías de acero del apéndice F con caudal 0,01985 mt<sup>3</sup>/seg (314,63 GPM) y 0,01415 mt<sup>3</sup>/seg (224,28 GPM) se determina que la tubería idónea es de diámetro nominal 100 mm. (Ø4") para ambas bombas.

Aunque las torres de enfriamiento seleccionadas requieren una entrada de tubería de 152 mm. (Ø6"), para la entrada de agua en las torres de enfriamiento se instalará una ampliación del diámetro de la tubería de 100 a 152 mm. Los detalles de la red de tuberías lo indica el plano #4 (Sistema de bombeo de las torres de enfriamiento).

La longitud equivalente por accesorios para el tramo #1 que comprende la bomba #1, tubería y la torre de enfriamiento #1 es;

VÁLVULAS Y ACCESORIOS	Longitud equivalente (mt.)	Cantidad	Longitud equivalente total (mt.)
Válvula de compuerta (Ø 100 mm.)	0,70	1	0,70
Válvula de retención (Ø 100 mm.)	7,92	1	7,92
Codo 90° (Ø 100 mm.)	3,05	5	15,25
<b>TOTAL (mt.)</b>			<b>23,87</b>

Tabla 39. Longitud equivalente por accesorios (Bomba #1)

Y para el tramo #2 la longitud equivalente por accesorios es;

VÁLVULAS Y ACCESORIOS	Longitud equivalente (mt.)	Cantidad	Longitud equivalente total (mt.)
Válvula de compuerta (Ø 100 mm.)	0,70	1	0,70
Válvula de retención (Ø 100 mm.)	7,92	1	7,92
Codo 90° (Ø 100 mm.)	3,05	4	12,20
<b>TOTAL (mt.)</b>			<b>20,82</b>

Tabla 40. Longitud equivalente por accesorios (Bomba #2)

La longitud total de tubería de cada tramo es;

	Longitud de tubería (mt.)	Longitud equivalente (accesorios)	Longitud total (mt.)
Bomba #1 - Torre de Enfriamiento #1	26,23	23,87	50,1
Bomba #2 - Torre de Enfriamiento #2	22,98	20,82	43,8

Tabla 41. Longitud total de tubería (Torres de Enfriamiento)

Al igual que los ramales de distribución para las maquinas de producción, se utilizan las mismas ecuaciones del 4.3 al 4.6 para el cálculo del área de circulación, velocidad, reynolds y pérdidas por fricción.

El cabezal de la bomba se determina de la altura estática sumado a las pérdidas por fricción. La altura estática es la altura desde la superficie del agua en la cisterna interna hasta la torre de enfriamiento.

En la tabla 42 se encuentra el resumen de los cálculos.

Tramo de tubería	Longitud total (mt.)	Caudal (mt <sup>3</sup> /seg)	Ø interno (mm.)	Velocidad (mt/seg)	Reynold (Re)	Rugosidad relativa (e/D)	Factor de fricción (f)	Pérdida por fricción (mt.)	Altura estática (mt.)	Cabezal (mt.)
Bomba #1 - Torre de Enfriamiento #1	50,10	0,01985	102,26	2,42	322692,06	0,0015	0,0224	3,27	10,80	14,07
Bomba #2 - Torre de Enfriamiento #2	43,80	0,01415	102,26	1,72	230029,86	0,0015	0,0226	1,47	10,80	12,27

Tabla 42. Resultados por ramal (Torres de Enfriamiento)

### Selección de bomba #1

Para el tramo #1 la bomba centrífuga a seleccionar es de la marca Bell & Gossett de la serie 1510 y las curvas de selección son del apéndice J.

Diámetro nominal de descarga de tubería: 100 mm. (Ø4")

Caudal: 0,01985 mt<sup>3</sup>/seg (314,63 GPM)

Cabezal: 14,07 mt. (46,16 ft.)

A continuación se presenta las características de la bomba seleccionada.

Características de la Bomba seleccionada (Torre de Enfriamiento #1)	
Modelo: 4AC	Potencia: 3,72 KW (5 HP)
Caudal: 0,01985 mt <sup>3</sup> /seg	Cabezal: 14,07 mts.
Velocidad: 1750 RPM	CANPr: 1,98 mts.
Ø de succión: 127 mm.	Velocidad de succión: 1,52 mt/seg
Ø de descarga: 100 mm.	Velocidad de descarga: 2,40 mt/seg
Ø impulsor: 177,8 mm.	Eficiencia: 73 %

Tabla 43. Características de la bomba (4AC Ø7" 1750 RPM)

Para el cálculo de carga de aspiración neta positiva, de la ecuación (4.6) se determina la sumatoria de la pérdida por fricción en la tubería de succión.

$$h_f = f \cdot \left( \frac{L_t}{D_i} \right) \cdot \left( \frac{V_s^2}{2 \cdot g} \right) \quad (4.6)$$

$V_s$ : 1,52 mt/seg

$L_t$ : 9,26 mt. (Incluido codo 90° Ø 127 mm.  $L_{eq}$ : 4,26 mt.)

$D_i$ : 128,19 mm.

De acuerdo a la ecuación 4.5 se calcula el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot V_s \cdot D_i}{\mu} \quad (4.5)$$

$$Re = \frac{(994,9) \cdot (1,52) \cdot (0,128)}{0,000762} = 254025,91$$

La rugosidad relativa es determinado del apéndice H, para una tubería de hierro galvanizado de diámetro de 127 mm.

$e/D$ : 0,0012

El factor de fricción es determinado del diagrama de Moody del apéndice I con el numero de Reynolds y la rugosidad relativa.

$f$ : 0,0215

La pérdida por fricción en la tubería de succión es:

$$h_f = (0,0215) \cdot \left( \frac{9,26}{0,128} \right) \cdot \left( \frac{(1,52)^2}{2 \cdot 9,8} \right) = 0.18\_mt$$

Para determinar la  $CANP_D$ , Los datos son:

$P_{atm.}/\gamma$  :10,34 mts. de H<sub>2</sub>O

Hes: 2,10 mt.

$h_f$  : 0,18 mts. de H<sub>2</sub>O

$P_v/\gamma$  : 0,51 mts. de H<sub>2</sub>O

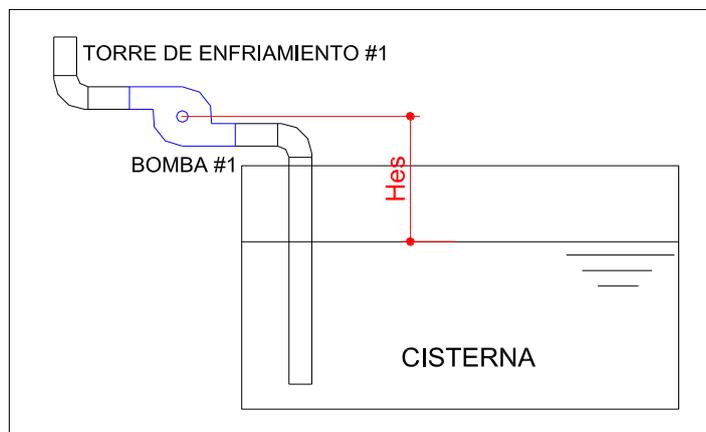


Figura 4.16 Succión de la bomba #1 (Torre de Enfriamiento #1)

$$CANP_D = \frac{P_{atm.}}{\gamma} - H_{es} - \sum h_f - \frac{P_v}{\gamma} \quad (4.9)$$

$$CANP_D = 10,34 - 2,10 - 0,18 - 0,51 = 7,55\_mt$$

De acuerdo las características de la bomba (tabla 43) la  $CANP_R$  es de 1,40 mts., por lo tanto;

$CANP_D$  (7,55 mts.) >  $CANP_R$  (1,95 mts.), No habrá cavitación.

## Selección de bomba #2

Para el tramo #2 la bomba centrífuga a seleccionar es de la marca Bell & Gossett de la serie 1510 y las curvas de selección son del apéndice J.

Diámetro nominal de descarga de tubería: 100 mm. (Ø4")

Caudal: 0,01415 mt<sup>3</sup>/seg (224,28 GPM)

Cabezal: 12,27 mt. (40,25 ft.)

A continuación se presenta las características de la bomba seleccionada.

Características de la Bomba seleccionada (Torre de Enfriamiento #2)	
Modelo: 4AC	Potencia: 2,23 KW (3 HP)
Caudal: 0,01415 mt <sup>3</sup> /seg	Cabezal: 12,27 mts.
Velocidad: 1750 RPM	CANPr: 1,85 mts.
Ø de succión: 127 mm.	Velocidad de succión: 1,09 mt/seg
Ø de descarga: 100 mm.	Velocidad de descarga: 1,70 mt/seg
Ø impulsor: 165,1 mm.	Eficiencia: 75 %

Tabla 44. Características de la bomba (4AC Ø6½" 1750 RPM)

Para el cálculo de carga de aspiración neta positiva, de la ecuación (4.6) se determina la sumatoria de la pérdida por fricción en la tubería de succión.

$$h_f = f \cdot \left( \frac{L_t}{D_i} \right) \cdot \left( \frac{V_s^2}{2 \cdot g} \right) \quad (4.6)$$

V<sub>s</sub>: 1,09 mt/seg

L<sub>t</sub>: 9,26 mt. (Incluido codo 90° Ø 127 mm. L<sub>eq</sub>: 4,26 mt.)

D<sub>i</sub>: 128,19 mm.

De acuerdo a la ecuación 4.5 se calcula el número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot V_s \cdot D_i}{\mu} \quad (4.5)$$

$$Re = \frac{(994,9) \cdot (1,09) \cdot (0,128)}{0,000762} = 182163,31$$

La rugosidad relativa es determinado del apéndice H, para una tubería de hierro galvanizado de diámetro de 127 mm.

$$e/D:0,0012$$

El factor de fricción es determinado del diagrama de Moody del apéndice I con el numero de Reynolds y la rugosidad relativa.

$$f: 0,0219$$

La pérdida por fricción en la tubería de succión es:

$$h_f = (0,0219) \cdot \left( \frac{9,26}{0,128} \right) \cdot \left( \frac{(1,09)^2}{2 \cdot 9,8} \right) = 0,096\_mt$$

Para determinar la CANP<sub>D</sub>, Los datos son:

$$P_{atm}/\gamma : 10,34 \text{ mts. de H}_2\text{O}$$

$$Hes: 1,40 \text{ mt.}$$

$$h_f : 0,096 \text{ mts. de H}_2\text{O}$$

$$P_v/\gamma : 0,51 \text{ mts. de H}_2\text{O}$$

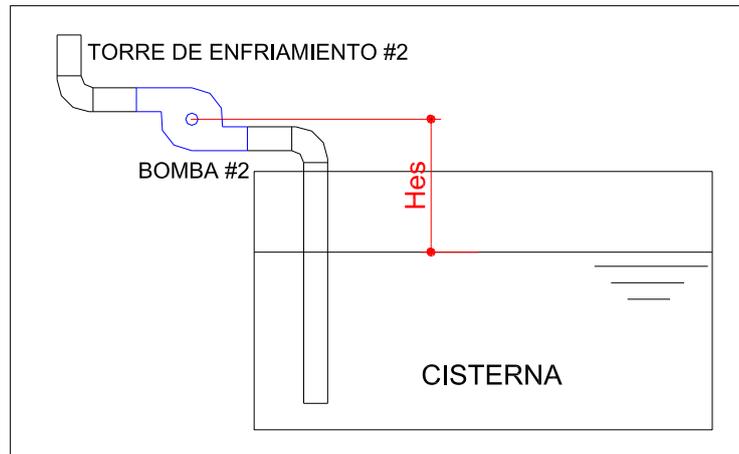


Figura 4.17 Succión de la bomba #2 (Torre de Enfriamiento #2)

$$CANP_D = \frac{P_{atm.}}{\gamma} - H_{es} - \sum h_f - \frac{P_v}{\gamma} \quad (4.9)$$

$$CANP_D = 10,34 - 1,40 - 0,096 - 0,51 = 8,33\_mt$$

De acuerdo las características de la bomba (tabla 44) la  $CANP_R$  es de 1,40 mts., por lo tanto;

$CANP_D$  (8,33 mts.) >  $CANP_R$  (1,85 mts.), No habrá cavitación.

### Sensores de nivel

Aunque ambas bombas operarán independientemente, cada una contará con sensores de nivel de agua en la cisterna interna de la planta para que la bomba #1 funcione para un caudal de 0,01985  $mt^3/seg$  (314,63 GPM) con la torre de enfriamiento #1 y cuando se requiera operar a plena carga el nivel de agua subirá y activará la bomba #2 con un caudal de 0,01415  $mt^3/seg$  (224,28 GPM) con la

torre de enfriamiento #2, y ambas satisfacen la demanda de caudal del sistema.

El plano #5 (Conexión de bombas) se muestra la posición de las bombas y los sensores de nivel en la cisterna interna de la planta.

### **Selección del ablandador de agua**

Los requerimientos para seleccionar los ablandadores de agua son el caudal de la reposición de agua del pozo y la dureza total. Para esto se utilizará el catálogo de la marca Culligan del apéndice L.

Debido a que el nuevo sistema de agua de enfriamiento es un sistema cerrado, significa que no debería haber pérdida de agua tan solo se requerirá para reposición de agua por evaporación en las torres de enfriamiento.

La pérdida de agua por evaporación en las torres de enfriamiento es por lo general el 2% del caudal en operación.

La torre de enfriamiento #1 operará con un caudal de 0,01985  $\text{m}^3/\text{seg}$  (314,63 GPM), así que la reposición de agua para esta torre es 0,000378  $\text{m}^3/\text{seg}$  (6 GPM).

La torre de enfriamiento #2 operará con un caudal de 0,01415  $\text{m}^3/\text{seg}$  (224,28 GPM), así que la reposición de agua para esta torre es 0,000252  $\text{m}^3/\text{seg}$  (4 GPM).

Para el primer turno de trabajo que operan las dos torres de enfriamiento, el sistema va a requerir de 0,00063 mt<sup>3</sup>/seg (10 GPM) para reposición de agua, mientras que para el segundo turno en que operará una sola torre, el sistema requerirá de 0,000378 mt<sup>3</sup>/seg (6 GPM). Para efecto de reposición continua de agua del pozo subterráneo, para la selección del ablandador de agua me basaré en una reposición de 0,00063 mt<sup>3</sup>/seg (10 GPM).

Como la bomba del pozo de agua es de 0,001577 mt<sup>3</sup>/seg (25 GPM), primero se disminuirá el caudal de la bomba con un ajuste para que quede a 0,000946 mt<sup>3</sup>/seg (15 GPM), Para que 0,00063 mt<sup>3</sup>/seg (10 GPM) se utilicen para reposición de agua en las torres con una tubería de 25,4 mm. (Ø1") y 0,000315 mt<sup>3</sup>/seg (5 GPM) con tubería de 20 mm. (Ø¾") para almacenar el agua del pozo en otra cisterna para usos varios.

Para el almacenamiento de agua del pozo subterráneo se calcula la capacidad de la cisterna para el caudal diario.

$$\left(0,000315 \frac{\text{mt}^3}{\text{seg}}\right) \cdot \left(\frac{3600 \text{ _ seg}}{1 \text{ _ hora}}\right) \cdot \left(\frac{19,2 \text{ _ horas}}{1 \text{ _ día}}\right) = 21,77 \text{ mt}^3$$

Lo que significa que diariamente se estaría ahorrando en consumo de agua potable 21,77 mt<sup>3</sup> de agua. En el análisis económico del capítulo 5 se determina el ahorro en dólares.

Cerca del pozo subterráneo se encuentran dos cisterna de iguales capacidades de 24 mt<sup>3</sup> en las cuales almacena el agua potable, una para las oficinas y la otra planta, por lo que se puede utilizar una de ellas para almacenar el agua del pozo y se utilice para usos varios de los cuales pueden utilizar para limpieza de la planta u oficinas, riego del jardín, mantenimiento, lavado de vehículos, servicios higiénicos en la planta, etc. Esto reducirá el costo por consumo de agua potable.

La bomba del pozo subterráneo actualmente tiene un sensor de nivel de agua en la cisterna principal y se lo volverá a utilizar para mantener el caudal en la cisterna. Para el cálculo del tiempo de reposición de agua, se determina;

$$0,00063 \text{ mt}^3/\text{seg} \Rightarrow 12 \text{ _ horas} \quad (\text{Primer turno})$$

$$0,000378 \text{ mt}^3/\text{seg} \Rightarrow X \quad (\text{Segundo turno})$$

La reposición para el segundo turno seria de 7,2 horas, y el resto de tiempo la bomba se apaga por el sensor de nivel.

En total la reposición de agua se dará por 19,2 horas por día a un caudal de 0.00063 mt<sup>3</sup>/seg (10 GPM).

Aunque los catálogos de las maquinas indican que requieren como máximo 80 p.p.m. de dureza en el agua de enfriamiento, para

mantenerlo bajo los límites máximos voy a reducir 310 p.p.m. de los 360 p.p.m. de dureza total existente actualmente.

Primero, se calcula la cantidad de granos por galón dividiendo la dureza en partes por millón para un factor de 17,1 y se obtiene la cantidad de granos por galón.

$$\frac{310 \text{ _ p.p.m.}}{17,1} = 18,12 \text{ granos / galón}$$

Segundo, se calcula el caudal por día.

$$\left(0,00063 \frac{\text{mt}^3}{\text{seg}}\right) \cdot \left(\frac{3600 \text{ _ seg}}{1 \text{ _ hora}}\right) \cdot \left(\frac{19,2 \text{ _ horas}}{1 \text{ _ día}}\right) = 43,55 \text{ mt}^3/\text{día}$$

$$43,55 \text{ mt}^3/\text{día} = 11504,7 \text{ gal/día}$$

Tercero, se calcula la cantidad de granos por día.

$$\left(18,22 \text{ granos / galón}\right) \cdot \left(11504,7 \text{ galones / día}\right) = 209615,63 \text{ granos / día}$$

Debido a que en el catálogo de Culligan, apéndice L, ningún equipo ablandador tiene la capacidad de 209615,63 granos por día para un caudal de 0,00063 mt<sup>3</sup>/seg (10 GPM), seleccionamos dos ablandadores de agua para su operación en serie.

De acuerdo al apéndice L, se selecciona los ablandadores modelo PV-90A y PV-120A, ya que ambos operan a 0,00063 mt<sup>3</sup>/seg (10 GPM) y ambos suman una capacidad de 210000 granos.

<b>ABLANDADOR DE AGUA</b>	
Marca	Culligan
Modelo	PV-90A
Caudal	0,00063 mt <sup>3</sup> /seg
Tubería	Ø 25 mm.
Volumen de Resina	0,085 mt <sup>3</sup> (3 ft <sup>3</sup> )
Tanque del ablandador	410 x 1220 mm.
Tanque de salmuera	610 x 1070 mm.
Peso aproximado	197 Kg
Granos/Kg de salmuera (max)	90000/20,4
Granos/Kg de salmuera (min)	60000/8,2

Tabla 45. Características del ablandador de agua (PV – 90A)

<b>ABLANDADOR DE AGUA</b>	
Marca	Culligan
Modelo	PV-120A
Caudal	0,00063 mt <sup>3</sup> /seg
Tubería	Ø 25 mm.
Volumen de Resina	0,113 mt <sup>3</sup> (4 ft <sup>3</sup> )
Tanque del ablandador	410 x 1520 mm.
Tanque de salmuera	610 x 1070 mm.
Peso aproximado	227 Kg
Granos/Kg de salmuera (max)	120000/27,2
Granos/Kg de salmuera (min)	80000/10,9

Tabla 46. Características del ablandador de agua (PV – 120A)

De acuerdo a las características de los ablandadores seleccionados, la cantidad total de salmuera requerida para 210000 granos por día es de 47,06 Kg (104,94 lb.). Los ablandadores de agua de la marca Culligan requieren ciertas especificaciones de operación como:

<b>ESPECIFICACIONES</b>	
Presión	206,8KPa (30 PSIG) - 689,4KPa (100 PSIG)
Temperatura	4 - 49 °C
Turbiedad	5 NTU max.
Cloro	1 p.p.m. max.
Hierro	5 p.p.m. max.

Tabla 47. Especificaciones de operación de ablandadores

La presión del sistema de tubería de reposición de agua actualmente cuenta con 579159,61 Pa (84 PSIG), lo cual quiere decir que cumple con la presión requerida.

Este tipo de ablandadores cuenta con el sistema Hi –Flo (Aqua sensor), lo que significa que la regeneración de la resina y el retrolavado es automático.

Para la instalación de los ablandadores de agua se requerirá de cambios en la tubería de reposición del agua del pozo, debido a que para los ablandadores de agua la tubería de conexión es de 25 mm., mientras que actualmente la tubería de reposición del agua del pozo es de diámetro 32 mm., el plano #6 (Sistema de ablandamiento y reposición de agua) detalla la conexión de la tubería de reposición de agua del pozo y del almacenamiento de agua del pozo subterráneo en otra cisterna para usos varios.

Los ablandadores de agua tendrán una conexión en serie, la cual primero irá el ablandador PV – 120A que eliminará 178,36 p.p.m. y el ablandador PV – 90A eliminará 131,64 p.p.m. para que juntos eliminen 310 p.p.m.

Para el caso en que se requiera sacar fuera de servicio un ablandador, ya sea por mantenimiento o daño del mismo, se dispondrá una conexión de tuberías como en la figura 4.18.

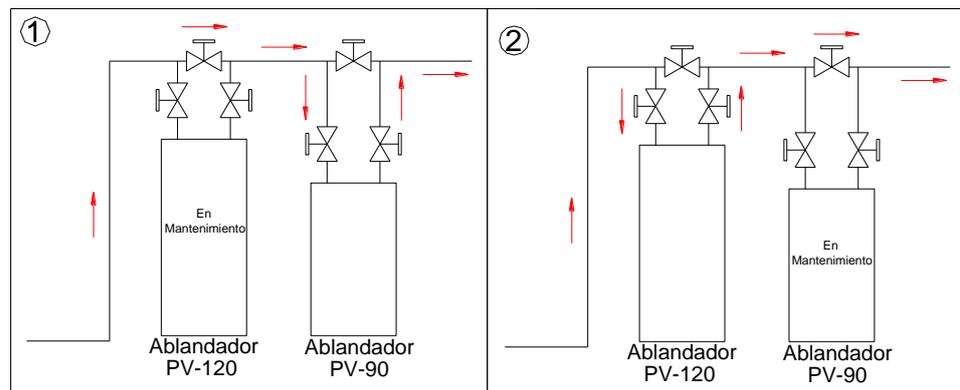


Figura 4.18 Conexión en serie de los ablandadores de agua

El cuadro (1) muestra el caso en que se queda fuera de servicio el ablandador PV – 120A cerrando las válvulas de entrada y salida del agua del ablandador y abriendo la válvula central para permitir el paso del agua directamente hacia el ablandador PV – 90A, o como lo muestra el cuadro (2) en que se queda fuera de servicio el ablandador PV – 90A, igualmente se cierran las válvulas de entrada y salida del agua y se abre la válvula central para que el agua pase directo del ablandador PV – 120A a la cisterna principal.

El plano #7 (Ablandadores de agua en serie) indica la conexión de tuberías y válvulas de ambos ablandadores y la posición de las mismas.

## **CAPÍTULO 5**

### **5. EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN**

En el presente capítulo se definirá una planificación organizada de la ejecución de la instalación de los nuevos equipos del sistema de agua de enfriamiento como las tuberías de distribución.

Además se presentará el costo de la inversión para mejorar el sistema con un desglose del costo de la instalación, por equipos, materiales, mano de obra y costos indirectos, para que al final de este capítulo realizar un análisis económico del ahorro que se obtendrá por implementar el nuevo sistema, con una reducción del consumo de energía eléctrica con bombas de menor potencia y ahorro del consumo de agua potable para la planta con el almacenamiento del agua del pozo.

Y se determinará el tiempo que se recuperará esta inversión con solo el ahorro esperado de implementar el nuevo sistema de agua de enfriamiento.

## 5.1 Cronograma de instalación de los equipos

Para elaborar el cronograma de instalación del sistema de agua de enfriamiento me basaré en el sistema de horas hombres.

Para realizar este sistema utilizó las tablas de estándares de montaje que están basados algunos en datos teóricos y otros han sido recopilados como información de rendimientos en proyectos anteriores. Lo cual nos da un estándar general muy confiable para la aplicación de una determinada actividad en un montaje mecánico.

<b>TUBERÍA</b>	<b>Fabricación y Montaje</b>
<b>Soldada y roscada</b>	<b>HH/Ton</b>
Área de Proceso	220 - 230
Áreas exteriores	100 - 120
Tubería enterrada	115 - 130
<b>Elementos bridados</b>	<b>HH/Ton</b>
Área de Proceso	55 - 60
Área de exteriores	40 - 45
<b>Soportería</b>	<b>HH/Ton</b>
Fabricación	300
Montaje	300
<b>Montaje de equipos</b>	<b>HH/Ton</b>
Equipos estáticos	25 - 30
Equipos dinámicos	
< 0,5 Ton	150
0,5 - 1 Ton	125
1 - 5 Ton	80
> 5 Ton	75

Tabla 48. Estándares de montaje

Para el montaje electromecánico del sistema de agua de enfriamiento, determino los grupos de trabajo para un horario de trabajo de 8 horas diarias, de lunes a sábados.

Supervisión G0	Prefabricación (tubería) G1	Montaje (tubería) G2	Desmontaje (tubería) G3
Supervisor de obra	1 maestro tubero	1 maestro tubero	1 maestro tubero
	1 ayudante	1 montador / tubería	1 montador / tubería
		1 ayudante	1 ayudante
Fabricación (soportería) G4	Montaje (soportería) G5	Pintura de soportes G6	Montaje de bombas G7
1 soldador eléctrico	1 montador / estructuras	1 pintor	1 mecánico / montador
1 ayudante	1 ayudante		
Conexión eléctrica de bombas, torres y ablandadores G8		Prueba y puesta en marcha G9	Montaje de torres de enfriamiento y ablandadores G10
1 electricista		1 tubero	2 mecánicos / montadores
1 ayudante			2 ayudantes

Tabla 49. Grupos de trabajo

Para determinar las horas hombre directas se determina el peso de los materiales y equipos a instalar por cada ramal de tubería.

MATERIALES DE TUBERÍA (TORRES DE ENFRIAMIENTO)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Tubería ASTM A120 4" SCH40	mt	50	16,07	803,50
2	Tubería ASTM A120 5" SCH40	mt	11	21,77	239,47
3	Codo 90 Ø4" galv.	u	9	4,10	36,90
4	Codo 90 Ø5" galv.	u	2	6,98	13,96
5	Válvula de compuerta Ø4" 150 lb	u	2	45,35	90,70
6	Válvula de retención Ø4" 150 lb.	u	2	40,45	80,90
7	Brida Ø5" 150 lbs. ASTM 150	u	4	5,90	23,60
8	Brida Ø4" 150 lbs. ASTM 150	u	16	6,80	108,80
<b>TOTAL</b>					<b>1397,83</b>
MATERIALES DE SOPORTERÍA (TORRES DE ENFRIAMIENTO)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Angulo 1½" x 1½" x 1/8"	mt	12	1,77	21,24
2	Canales 100x50x3 mm.	mt	6	4,48	26,88
3	Pernos de expansión Ø5/8" x 3"	u	30	0,13	3,90
<b>TOTAL</b>					<b>52,02</b>
EQUIPOS (TORRES DE ENFRIAMIENTO)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)	
1	Bomba centrífuga 5HP 1750 RPM	1	27,00	27,00	
2	Bomba centrífuga 3HP 1750 RPM	1	21,40	21,40	
3	Torre de Enfriamiento LSTA 4-126	2	2960,00	5920,00	
<b>TOTAL</b>					<b>5968,40</b>

Tabla 50. Pesos de materiales y equipos (Torres de Enfriamiento)

### **Tubería**

Para este ramal de tuberías, se escoge el estándar de montaje de tubería en exteriores bridados (45HH/Ton) y se multiplica por el peso total de la tubería y accesorios a instalar.

$$45 \text{ HH/Ton} * 1,39 \text{ Ton} = 62,55 \text{ HH directas}$$

Debido a que el estándar especifica que estas horas hombres es para la fabricación y montaje, se estima que para la fabricación representa el 60% de total de horas hombre, que es cuando se prepara la tubería con las medidas requeridas y roscado en los extremos y el 40% para la instalación de la tubería.

### **Soporteria**

Para la fabricación y montaje de los soportes de las tuberías como lo indica el plano #8 (forma de los soportes de tuberías) se considera que para la:

$$\text{(Fabricación)} : 300 \text{ HH/Ton} * 0,052 \text{ Ton} = 15,6 \text{ HH directas}$$

$$\text{(Montaje)} : 300 \text{ HH/Ton} * 0,052 \text{ Ton} = 15,6 \text{ HH directas}$$

### **Equipos**

Considerando la bomba como equipo dinámico se toma el estándar de 150HH/Ton ya que el peso de la bomba es menor a 0,5 Ton.

$$\text{(Montaje)} : 150 \text{ HH/Ton} * 0,048 \text{ Ton} = 7,26 \text{ HH directas}$$

### **Instalación eléctrica de las bombas**

Para la instalación eléctrica se estimará un estándar de 16 HH para la instalación de cada bomba solo por cablear y conectar, debido a que la ubicación de las bombas hasta el panel de control están relativamente cerca y la planta cuenta con las bandejas aéreas para el traslado de los conductores eléctricos de las bombas lo cual hace fácil el trabajo eléctrico.

### **Pintura de los soportes**

Para pintar los soportes, se considerará un estándar de 2HH/mt<sup>2</sup>, considerando 2 capas de pintura, se adiciona un 20% al total de HH de la primera capa y la segunda se mantiene el mismo total. En este 20% se considera la preparación y limpieza de la superficie.

$$1,8 \text{ mt}^2 \times 2\text{HH/mt}^2 = 3,6 \text{ HH}$$

$$\text{Primera mano: } 3,6 \text{ HH} \times 1,2 = 4,32\text{HH}, \text{ Segunda mano: } 3,6 \text{ HH}$$

$$\text{Total: } 3,6 \text{ HH} + 4,32 \text{ HH} = 7,92 \text{ HH}$$

### **Prueba y puesta en marcha**

Las pruebas de un sistema de tubería no esta estandarizado el tiempo que tomará realizar esta tarea sino que se lo estima de acuerdo a la experiencia, pero debido a que son sistemas pequeños y sencillos se estima un estándar de 8 HH.

MATERIALES DE TUBERÍA (ABLANDADORES DE AGUA)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Tubería ASTM A120 1" SCH40	mt	66	2,50	165,00
2	Tubería ASTM A120 ¾" SCH40	mt	5	1,68	8,40
3	Codo 90 Ø¾" galv.	u	1	0,16	0,16
4	Codo 90 Ø1" galv.	u	7	0,22	1,54
5	Válvula de compuerta Ø1" 150 lb	u	6	6,85	41,10
6	Tee Ø1" x 1" x 1" galv.	u	5	0,45	2,25
7	Red. Conc. 1" - ¾" galv.	u	1	0,30	0,30
8	Unión roscable Ø1" galv.	u	8	0,50	4,00
<b>TOTAL</b>					<b>222,75</b>
MATERIALES DE SOPORTERÍA (ABLANDADORES DE AGUA)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Angulo 1½" x 1½" x 1/8"	mt	12	1,77	21,24
2	Platina 1½" x 1/8"	mt	6	0,7	4,2
3	Pernos de expansión Ø5/8" x 3"	u	8	0,13	1,04
<b>TOTAL</b>					<b>26,48</b>
EQUIPOS (ABLANDADOR DE AGUA)					
Ítem	DESCRIPCIÓN		Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Ablandador de agua 10 GPM-90000 gr.		1	197,00	197,00
2	Ablandador de agua 10 GPM-120000 gr.		1	227,00	227,00
<b>TOTAL</b>					<b>424,00</b>

Tabla 51. Pesos de materiales y equipos (reposición de agua)

MATERIALES DE TUBERÍA (EXTRUSORAS)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Tubería PVC 4" SCH40	mt	56	2,90	162,40
2	Tubería PVC 3" SCH40	mt	4	2,04	8,16
3	Tubería PVC 2½" SCH40	mt	3	1,56	4,68
4	Tubería PVC 2" SCH40	mt	17	0,98	16,66
5	Tubería PVC 1½" SCH40	mt	10	0,73	7,30
6	Tubería PVC 1¼" SCH40	mt	6	0,61	3,66
7	Codo 90 PVC Ø4"	u	1	0,42	0,42
8	Codo 90 PVC Ø2"	u	3	0,20	0,60
9	Codo 90 PVC Ø1½"	u	1	0,15	0,15
10	Codo 90 PVC Ø1¼"	u	1	0,12	0,12
11	Válvula de compuerta Ø4" PVC	u	1	1,58	1,58
12	Válvula de compuerta Ø2" 150 lb.	u	4	21,81	87,24
13	Válvula de compuerta Ø1½" 150 lb	u	3	10,43	31,29
14	Válvula de compuerta Ø1¼" 150 lb	u	1	8,42	8,42
15	Tee PVC Ø4" x 4" x 4"	u	3	1,03	3,09
16	Tee PVC Ø3" x 3" x 3"	u	2	0,60	1,20
17	Tee PVC Ø2½" x 2½" x 2½"	u	1	0,40	0,40
18	Tee PVC Ø2" x 2" x 2"	u	1	0,30	0,30
19	Red. Conc. 3" - 1¼" PVC	u	1	0,26	0,26
20	Red. Conc. 3" - 2½" PVC	u	1	0,10	0,10
21	Red. Conc. 3" - 2" PVC	u	1	0,18	0,18
22	Red. Conc. 4" - 2" PVC	u	2	0,28	0,56
23	Red. Conc. 4" - 3" PVC	u	1	0,25	0,25
24	Red. Conc. 2½" - 2" PVC	u	2	0,08	0,16
25	Red. Conc. 2" - 1½" PVC	u	2	0,06	0,13
<b>TOTAL</b>					<b>339,31</b>
MATERIALES DE SOPORTERÍA (EXTRUSORAS)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Angulo 1½" x 1½" x 1/8"	mt	10	1,77	17,70
2	Platina 1½" x 1/8"	mt	30	0,7	21,00
<b>TOTAL</b>					<b>38,7</b>

Tabla 52. Pesos de materiales (extrusoras)

MATERIALES DE TUBERÍA (TREFILADORAS FINAS H20)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Tubería ASTM A120 2½" SCH40	mt	11	8,21	90,31
2	Tubería ASTM A120 1½" SCH40	mt	13	4,05	52,65
3	Codo 90 Ø2½" galv.	u	2	1,36	2,72
4	Codo 90 Ø1½" galv.	u	1	0,68	0,68
5	Válvula de compuerta Ø1½" 150 lb	u	3	21,81	65,43
6	Válvula de retención Ø2½" 150 lb	u	1	20,86	20,86
7	Tee Ø 2½" x 2½" x 2½" galv.	u	3	2,27	6,81
8	Red. Conc. 2½" - 1½" galv.	u	3	1,10	3,30
<b>TOTAL</b>					<b>242,76</b>
MATERIALES DE SOPORTERÍA (TREFILADORAS FINAS H20)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Angulo 1½" x 1½" x 1/8"	mt	2	1,77	3,54
2	Platina 1½" x 1/8"	mt	10	0,70	7,00
3	Plancha acero carbono 1/4"	mt²	0,5	50,00	25,00
<b>TOTAL</b>					<b>35,54</b>
EQUIPOS (TREFILADORAS FINAS H20)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Bomba centrífuga 1½HP 1150 RPM		1	17,71	17,71
<b>TOTAL</b>					<b>17,71</b>

Tabla 53. Pesos de materiales y equipos (Tref. Finas H20)

MATERIALES DE TUBERÍA (TREFILADORA J21)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Tubería ASTM A120 2" SCH40	mt	24	5,43	130,32
2	Tubería ASTM A120 1½" SCH40	mt	21	4,05	85,05
3	Tubería ASTM A120 1¼" SCH40	mt	21	3,85	80,85
4	Codo 90 Ø1½" galv.	u	5	0,68	3,40
5	Codo 90 Ø1¼" galv.	u	3	0,34	1,02
6	Válvula de compuerta Ø1¼" 150 lb	u	1	8,42	8,42
7	Válvula de retención Ø2" 150 lb.	u	1	18,22	18,22
8	Tee Ø 2" x 2" x 2" galv.	u	1	2,10	2,10
9	Red. Conc. 2" - 1¼" galv.	u	1	0,70	0,70
10	Red. Conc. 2½" - 1½" galv.	u	1	0,90	0,90
<b>TOTAL</b>					<b>330,98</b>
MATERIALES DE SOPORTERÍA (TREFILADORA J21)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Angulo 1½" x 1½" x 1/8"	mt	6	1,77	10,62
2	Platina 1½" x 1/8"	mt	10	0,7	7,00
3	Canales 100x50x3mm.	mt	3	4,48	13,44
4	Pernos de expansión Ø5/8" x 3"	u	4	0,13	0,52
<b>TOTAL</b>					<b>31,58</b>
EQUIPOS (TREFILADORA J21)					
Ítem	DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	Peso Unit. (kg)	Peso Total (kg)
1	Bomba centrífuga ¾HP 1150 RPM		1	16,67	16,67
<b>TOTAL</b>					<b>16,67</b>

Tabla 54. Peso de materiales y equipos (Trefiladora J21)



## 5.2 Costo de instalación del sistema

El costo de la instalación del nuevo sistema de agua de enfriamiento se desglosa en costo de equipos a instalar, costo de los materiales a implementar, costo de la mano de obra que ejecutará la obra y los costos indirectos como uso de herramientas, pruebas y reparaciones, variación de precios en el mercado y utilidad.

### Costos directos e indirectos

**Costo directo:** es un rubro que representa lo invertido y absorbido el 100%, esta constituido por el costo de: equipos, mano de obra, materiales, transporte y alquiler de equipos.

### Costo de los equipos

ítem	Equipo	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
1	Torre de Enfriamiento (Evapco) Modelo: LSTA 4-126	2	9050,30	18100,60
2	Bomba centrífuga (Bell & Gosett) ¾ HP 1150 RPM	1	75,62	75,62
3	Bomba centrífuga (Bell & Gosett) 1½ HP 1150 RPM	1	106,70	106,70
4	Bomba centrífuga (Bell & Gosett) 5HP 1750 RPM	1	347,93	347,93
5	Bomba centrífuga (Bell & Gosett) 3HP 1750 RPM	1	306,91	306,91
6	Ablandador de agua (Culligan) Modelo: PVE - 90A	1	1838,52	1838,52
7	Ablandador de agua (Culligan) Modelo: PVE - 120A	1	2206,22	2206,22
<b>SUB - TOTAL</b>				22982,50
<b>IVA 12%</b>				2757,90
<b>TOTAL</b>				<b>25740,40</b>

Tabla 56. Costo de equipos

### Costo de materiales

ítem	Materiales	Cantidad (tubos)	Costo (\$/6mt.)	Costo Total (\$)
1	Tubería ASTM 120 5" SCH 40	2	145,20	290,40
2	Tubería ASTM 120 4" SCH 40	9	113,50	1021,50
3	Tubería ASTM 120 1¼" SCH 40	4	31,80	127,20
4	Tubería ASTM 120 2½" SCH 40	2	59,25	118,50
5	Tubería ASTM 120 2" SCH 40	4	33,95	135,80
6	Tubería ASTM 120 1½" SCH 40	6	30,40	182,40
7	Tubería ASTM 120 1" SCH 40	11	16,75	184,25
8	Tubería ASTM 120 ¾" SCH 40	5	10,45	52,25
9	Tubería PVC 4" SCH 40	10	39,80	398,00
10	Tubería PVC 3" SCH 40	1	27,28	27,28
11	Tubería PVC 2½" SCH 40	1	14,22	14,22
12	Tubería PVC 2" SCH 40	9	11,16	100,44
13	Tubería PVC 1½" SCH 40	2	8,18	16,36
14	Tubería PVC 1¼" SCH 40	1	6,81	6,81
<b>SUB-TOTAL</b>				2675,41
<b>IVA 12%</b>				321,05
<b>TOTAL</b>				<b>2996,46</b>

Tabla 57. Costo de materiales (tuberías)

ítem	Materiales	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Angulo 1½" x 1½" x 1/8" (6mts.)	7	5,36	37,52
2	Canal 100x50x3 (6 mts.)	2	14,45	28,90
3	Pernos de expansion Ø5/8" x 3"	48	1,78	85,44
4	Platina 1½"x1/8" (6 mts.)	10	2,40	24,00
5	Pintura anticorrosiva (CONDOR)	2 gal.	8,76	17,52
6	Tornillos ¼"x½"	100	0,02	2,00
7	Soldadura E6011	8 lbs.	1,50	12,00
8	Bridas Ø5" 150 lbs. ASTM 105	4	3,90	15,60
9	Bridas Ø4" 150 lbs. ASTM 105	16	3,20	51,20
10	Pernos ¼" x 1"	100	0,04	4,00
11	Tuerca ¼" galv.	100	0,02	2,00
<b>SUB - TOTAL</b>				280,18
<b>IVA 12%</b>				33,62
<b>TOTAL (\$)</b>				<b>313,80</b>

Tabla 58. Costo de materiales (soporteria)

ítem	Materiales	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo Total (\$)
1	Codo 90 galvanizado Ø5"	2	5,90	11,80
2	Codo 90 galvanizado Ø4"	9	4,85	43,65
3	Codo 90 galvanizado Ø2½"	2	3,20	6,40
4	Codo 90 galvanizado Ø2"	4	1,10	4,40
5	Codo 90 galvanizado Ø1½"	5	0,90	4,50
6	Codo 90 galvanizado Ø1¼"	3	0,70	2,10
7	Codo 90 galvanizado Ø1"	7	0,55	3,85
8	Codo 90 galvanizado Ø¾"	1	0,35	0,35
9	Codo 90 PVC Ø4"	1	3,80	3,80
10	Codo 90 PVC Ø2" (roscable)	3	4,25	12,75
11	Codo 90 PVC Ø1½" (roscable)	1	3,51	3,51
12	Codo 90 PVC Ø1¼" (roscable)	1	2,35	2,35
13	Tee galvanizado 2" x 2" x 2"	2	0,96	1,92
14	Tee galvanizado 2½" x 2½" x 2½"	1	1,22	1,22
15	Tee galvanizado 1" x 1" x 1"	5	0,70	3,50
16	Tee PVC 4" x 4" x 4"	3	7,50	22,50
17	Tee PVC 3" x 3" x 3"	2	7,00	14,00
18	Tee PVC 2½" x 2½" x 2½"	1	6,50	6,50
19	Tee PVC 2" x 2" x 2"	1	6,29	6,29
20	Válvula de compuerta galv. Ø4"	2	220,00	440,00
21	Válvula de compuerta galv. Ø2"	4	29,12	116,48
22	Válvula de compuerta galv. Ø1½"	3	18,40	55,20
23	Válvula de compuerta galv. Ø1¼"	4	17,60	70,40
24	Válvula de compuerta galv. Ø1"	6	14,00	84,00
25	Válvula de compuerta PVC Ø4"	1	58,87	58,87
26	Válvula de retención galv. Ø4"	2	178,00	356,00
27	Válvula de retención galv. Ø2"	1	120,00	120,00
28	Válvula de retención galv. Ø2½"	1	62,12	62,12
29	Red. concentrica galv. 2½" - 2"	1	0,40	0,40
30	Red. concentrica galv. 2½" - 1½"	2	0,60	1,20
31	Red. concentrica galv. 1" - ¾"	1	0,28	0,28
32	Red. concentrica PVC 3" - 1¼"	1	2,85	2,85
33	Red. concentrica PVC 3" - 2½"	1	2,40	2,40
34	Red. concentrica PVC 3" - 2"	1	2,15	2,15
35	Red. concentrica PVC 4" - 2"	2	3,60	7,20
36	Red. concentrica PVC 4" - 3"	1	3,20	3,20
37	Red. concentrica PVC 2½" - 2"	2	0,65	1,30
38	Red. concentrica PVC 2" - 1½"	2	0,63	1,26
39	Union Roscable Ø1"	8	0,26	2,08
<b>SUB - TOTAL</b>				1542,78
<b>IVA 12%</b>				185,13
<b>TOTAL</b>				<b>1727,91</b>

Tabla 59. Costo de materiales (accesorios)

El costo total por la compra de los materiales es de 5038,47 USD.

### Costo de mano de obra

El costo de la mano de obra por categoría es el resultado de la suma de todos los beneficios de la ley que a continuación se detalla para encontrar el costo diario del personal por categoría.

CATEGORÍA	Sueldo unificado	Décimo Tercero	Décimo cuarto	Comp. Salarial	Aporte patronal	Fondo Reserva	Sub-Total mensual	Almuerzo mensual	TOTAL mensual	Jornal real	Costo HH
Tubero (Montaje)	144,99	144,99	121,91	192,00	234,72	144,99	214,87	36,00	250,87	13,0	1,62
Mecánico / montador	144,99	144,99	121,91	192,00	234,72	144,99	214,87	36,00	250,87	13,0	1,62
Montador / estructuras	144,99	144,99	121,91	192,00	234,72	144,99	214,87	36,00	250,87	13,0	1,62
Montador / tubería	144,99	144,99	121,91	192,00	234,72	144,99	214,87	36,00	250,87	13,0	1,62
Soldador eléctrico	144,99	144,99	121,91	192,00	234,72	144,99	214,87	36,00	250,87	13,0	1,62
Electricista	130,25	130,25	121,91	192,00	213,23	130,25	195,89	36,00	231,89	12,0	1,50
Supervisor (electromecánico)	144,99	144,99	121,91	192,00	234,72	144,99	214,87	36,00	250,87	13,0	1,62
Ayudante (Estructuras)	128,77	128,77	121,91	192,00	211,07	128,77	193,98	36,00	229,98	11,9	1,49
Ayudante (eléctrico)	128,77	128,77	121,91	192,00	211,07	128,77	193,98	36,00	229,98	11,9	1,49
Ayudante (soldador)	130,30	130,30	121,91	192,00	213,31	130,30	195,95	36,00	231,95	12,0	1,50
Ayudante (Montaje)	130,30	130,30	121,91	192,00	213,31	130,30	195,95	36,00	231,95	12,0	1,50
Albañil	130,25	130,25	121,91	192,00	213,23	130,25	195,89	36,00	231,89	12,0	1,50
Pintor	130,25	130,25	121,91	192,00	213,23	130,25	195,89	36,00	231,89	12,0	1,50

Tabla 60. Desglose de los beneficios de ley del personal

De acuerdo al cronograma de instalación sabemos el número de horas hombre o días de trabajo del personal por categoría para luego determinar el costo total por mano de obra.

Categoría	Horas-Hombre	Cantidad de personal	Costo HH del grupo	Costo Total (\$)
GRUPO 0	136	1	1,62	220,32
GRUPO 1	182	2	3,12	283,92
GRUPO 2	122	3	4,74	192,76
GRUPO 3	168	3	4,74	265,44
GRUPO 4	89	2	3,12	138,84
GRUPO 5	57	2	3,11	88,64
GRUPO 6	31	1	1,50	46,50
GRUPO 7	14	1	1,62	22,68
GRUPO 8	112	2	2,99	167,44
GRUPO 9	40	1	1,62	64,80
GRUPO 10	191	4	6,24	297,96
Albañil	16	1	1,50	24,00
<b>TOTAL (\$)</b>				<b>1813,30</b>

Tabla 61. Costo total por mano de obra

Para determinar el rubro del transporte, me baso en lo siguiente:

Transporte	Número de viajes	Costo (\$)	Costo Total (\$)
Soportes	5	10,00	50,00
Materiales	5	12,00	60,00
Desmontaje	1	15,00	15,00
Ablandadores	1	15,00	15,00
Torres de enfriamiento	1	20,00	20,00
			<b>160,00</b>

Tabla 62. Costo del transporte

Lo siguiente es el costo del alquiler de los equipos a utilizar en la instalación.

CATEGORÍA	Cantidad	Costo unitario (\$)	Tiempo de alquiler	Costo total (\$)
Andamio	4 tramos	5,54 USD/mes	1 mes	22,16
Soldadora eléctrica	1	1,50 USD/h	8h/día (8 días)	96,00
Grúa 10 Ton.	1	35 USD/h	8h/día (4 días)	1120,00
<b>TOTAL</b>				<b>1238,16</b>

Tabla 63. Costo de alquiler de equipos

Por lo tanto los costos directos de la obra son:

<b>Equipos</b>	25740,40
<b>Mano de obra</b>	1813,30
<b>Materiales</b>	5038,47
<b>Transporte</b>	160,00
<b>Alquiler de equipos</b>	1238,16
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>33990,33</b>

Tabla 64. Costos directos

**Costo indirecto:** es un rubro el cual no es absorbido el 100% por la obra y que consta de la utilidad, uso de herramientas, pruebas y

reparaciones, variación de precios en el mercado, y alquiler de equipos.

**Utilidad:** Por este concepto se pone una utilidad que varia del 5% al 10% pero puede variar según los montos a contratarse.

**Pruebas y reparaciones:** Se considera el 1% de los costos directos totales de la obra.

**Variación de precios en el mercado:** se estima un sobrevalor del 2% de imprevistos con el fin de precautelar cualquier variación de precios del mercado local.

Variación de precios (2%)	679,80
Pruebas y reparaciones (1%)	339,90
Utilidad (6%)	2039,41
<b>TOTAL (\$)</b>	<b>3059,11</b>

Tabla 65. Costos Indirectos

El costo total de la obra es la suma de los costos directos e indirectos.

$$33990,3 + 3059,11 = \mathbf{37049,41 \text{ USD}}$$

### 5.3. Análisis económico

Instalar el nuevo sistema de agua de enfriamiento reducirá los tiempos muertos por rechazos del material PVC en la elaboración de conductores eléctricos y por ende habrá un aumento de producción, además que se producirá una reducción de los costos de consumo de agua potable en la planta como los costos de consumo de energía eléctrica que se detallara mas adelante.

#### Ahorro en consumo de agua potable

De acuerdo al ahorro que se producirá por almacenar el agua del pozo y utilizarlo para gastos varios en la planta, que antes se rechazaba al exterior de la planta, determino cuanto se ahorrará en la planta por el consumo de agua potable.

INTERAGUA	
USD	mt <sup>3</sup>
0,241	0 - 15
0,375	16 - 30
0,482	31 - 60
0,663	61 - 100
0,726	101 - 300
1,043	301 - 2500
1,296	2501 - 5000
1,974	5001 - 1E+12

Tabla 66. Costo del agua potable

Para 21,77 mt<sup>3</sup> de agua del pozo diario (653,1 mt<sup>3</sup> al mes) que se almacenará en una cisterna para consumos varios en la planta, se

calculará el costo del agua potable que se ahorrará almacenando el agua del pozo. Para esto INTERAGUA establece que el precio del metro cúbico varía de acuerdo al rango de consumo de agua. Para 653,1 mt<sup>3</sup> mensual se establece que:

USD	mt <sup>3</sup>	USD Total
0,241	0 - 15	3,615
0,375	16 - 30	5,250
0,482	31 - 60	13,978
0,663	61 - 100	25,857
0,726	101 - 300	144,470
1,043	301 - 653,1	367,240
<b>TOTAL</b>		<b>560,410</b>

Tabla 67. Cálculo del ahorro de agua potable

El ahorro mensual por concepto de consumo de agua potable es de 560,41 USD mensual.

### Ahorro en consumo de energía eléctrica

Para determinar el ahorro por consumo de energía eléctrica, se define los kwh que consume mensualmente en promedio los equipos del sistema actual y del nuevo sistema que se instalará a futuro.

	Potencia (W)	Horas/mes (promedio)	Kwh
Bomba (Trefiladora J21)	7532,32	112	843,62
Bomba (Tref. Finas H20)	2252,97	616	1387,83
Bomba (Cisterna de enfri.)	22525,45	616	13875,68
Bomba (Cisterna Principal)	22596,96	616	13919,73
<b>TOTAL</b>			<b>30026,85</b>

Tabla 68. Consumo promedio de energía eléctrica (Sist. Actual)

	Potencia (W)	Horas/mes (promedio)	Kwh
Bomba (Trefiladora J21)	419,82	336	141,06
Bomba (Tref. Finas H20)	1124,46	616	692,67
Bomba (Torre de enfri. #1)	3746,38	672	2517,57
Bomba (Torre de enfri. #2)	2266,54	336	761,56
Torre de enfriamiento #1	12975,17	672	8719,31
Torre de enfriamiento #2	12975,17	336	4359,66
<b>TOTAL</b>			<b>17191,82</b>

Tabla 69. Consumo promedio de energía eléctrica (Sist. Futuro)

Estos cálculos son teóricamente en promedio ya que se determino el un numero de horas mensuales de operación en promedio y además que cuando arrancan los equipos se generan picos elevados de corriente y luego se estabiliza para lo cual van a consumir más energía al arranque de los mismos.

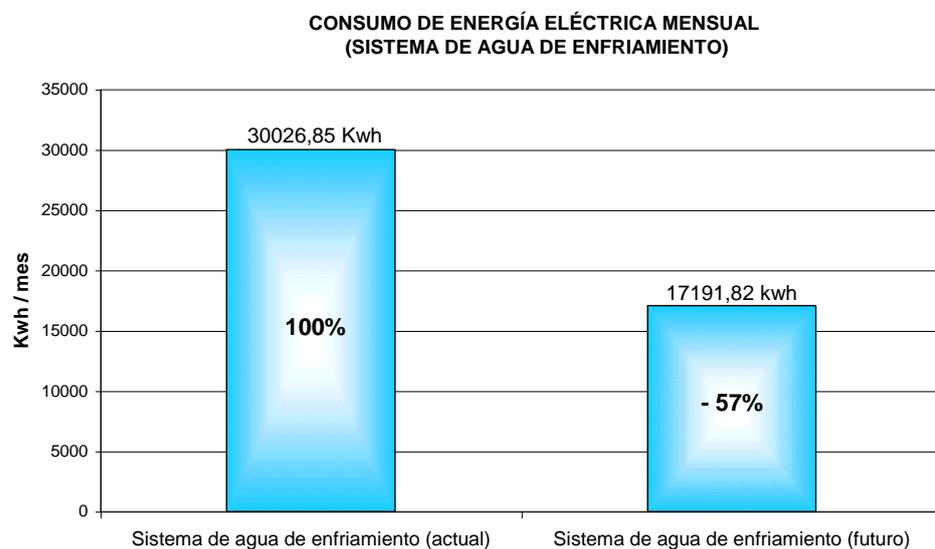


Figura 5.1 Reducción del consumo de energía eléctrica

La reducción en Kwh mensual es de 12835,05, para lo cual el costo de la energía eléctrica en el sector industrial es de 0,081 USD/Kwh, por lo tanto el ahorro en promedio por consumo de energía eléctrica es de 1039,63 USD.

### **Recuperación de la inversión**

Para 1039,63 USD en promedio por concepto de ahorro de consumo de energía eléctrica y 560,41 USD por concepto de ahorro de consumo de agua potable, dan en total 1600,04 USD en ahorro mensual.

Si consideramos solo el ahorro mensual que generara el nuevo sistema de agua de enfriamiento de 1600,04 USD mensuales, para el costo total de la instalación de 37049,41 USD, entonces la inversión se recuperará en dos años, luego de esto todo será ganancias para la planta, sin considerar el beneficio que se obtiene por el aumento de producción, eliminación del reproceso, etc.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

1. En el rediseño del sistema de agua de enfriamiento de la planta, se instalarán 9153,34 Kg de equipos y tuberías que durarán 17 días de trabajo con un total de 1150 HH.
2. La obra requerirá de una inversión de 37049,41 USD y generará un ahorro mensual de 1600,04 USD por concepto de consumo de energía eléctrica y agua potable, inversión que se recuperará en dos años exactamente.
3. La operación del nuevo sistema de agua de enfriamiento permitirá que se reduzcan las deformaciones del recubrimiento de PVC de los conductores eléctricos con una correcta velocidad de enfriamiento del material después del proceso de extrusión.

4. Aunque el agua del pozo es un beneficio por la reducción de costos por consumo de agua potable, ellos lo desperdiciaban y además que resultaba perjudicial para la maquinaria, equipos y tuberías por la alta dureza del agua. La instalación de los dos ablandadores eliminará la dureza no en su totalidad pero si lo suficiente para una correcta operación debido a que para instalaciones con torres de enfriamiento no es tan exigente como el agua que circula en una caldera.
5. El rediseño del sistema de agua de enfriamiento de la planta tendrá la finalidad de permitir que la maquinaria de producción trabaje en condiciones normales de caudal y temperatura del agua requeridas.
6. Una de las ventajas que se obtendrá con la instalación del nuevo sistema es la disminución de pérdidas del material de recubrimiento de los conductores eléctricos, ya que cuando se deforma, este no puede ser utilizado nuevamente como aislante eléctrico, sino que se lo vende, y con los cambios, el material será aprovechado al máximo.
7. Lo que he aprendido en la realización de este trabajo es que siempre se debe considerar que el sistema que esta instalado esta bien diseñado, pero siempre existirán muchas formas de mejorarlo y es ahí cuando entra la labor del Ingeniero Mecánico.

## RECOMENDACIONES

1. Lo que recomiendo para la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOL es que se realice una gestión de prestación de servicios al sector industrial, en la cual los estudiantes puedan resolver problemas comunes que se presentan en la industria ecuatoriana y poderlo canalizar como temas de tesis de grado como a mi se me presento la oportunidad y así dar ese aporte a la sociedad y a la vez el estudiante gana experiencia realizando trabajos de ingeniería en el campo de la producción fortaleciendo los conocimientos teóricos aprendidos en la Universidad.
2. La recomendación para la empresa INCABLE es que cuando se autorice a realizar una expansión futura de líneas de producción que consuman agua para su enfriamiento, verificar el caudal de agua requerido para el total de maquinaria e instalar otra bomba centrífuga que abastezca dicha carga acoplada al distribuidor de agua, ya que la torre de enfriamiento esta sobredimensionada para una futura expansión.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ASHRAE Handbook, Chapter 33 (Pipe and Fittings), 1979.
2. AYOUB MARIO, “Mejoras en las Instalaciones mecánicas de un planta productora de hielo de 180 ton/día” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001).
3. BELL & GOSSETT, Curvas de selección de bombas centrífugas (Serie 80 y Serie 1510).
4. BENAVIDES DANIEL, “Rediseño de un sistema de enfriamiento de agua de una planta transformadora de plástico” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1989).
5. CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN, Publicación técnica “Construcción y Desarrollo”, Julio 2003. Pág. 10 y 11.
6. CULLIGAN, Catálogo de selección de ablandadores de agua (Hi-Flo).

7. EVAPCO, Catálogo de selección de Torres de Enfriamiento.
8. FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA; Universidad de Guayaquil, Memorias del seminario “Ingeniería de los fluidos: Vapor, Aire y Agua”, Junio 2003.
9. INCROPERA FRANK / DE WITT DAVID, Fundamentos de transferencia de calor, Prentice Hall, Cuarta edición, México 1999.
10. MUNSON BRUCE R., Fundamentos de Mecánica de Fluidos, editorial Limusa, México 1999.
11. RASE HOWARD T., Diseño de tuberías para plantas de proceso, Editorial Blume, Madrid 1971.
12. THEODORE BAUMEISTER, Marks Manual del Ingeniero Mecánico, novena edición, tomo I y II, Editorial Mc Graw Hill, 1995.
13. TORO WELMER, “Ampliación de una línea de embotellado de cerveza de 1500 BPM” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1998).