



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Rediseño de un Sistema de Distribución Hidráulica para
Enfriamiento de Máquinas y Moldes de Inyección en una Industria
Plástica.”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Manuel Fernando Eras López

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año 2015

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ing. Ernesto Martínez, Director de este proyecto por su invaluable ayuda en el desarrollo de esta tesis.

A mis padres por el apoyo constante que me han brindado y darme la oportunidad de estudiar en esta prestigiosa institución.

A todos mis hermanos por sus sabios consejos que me han transmitido a lo largo de toda mi vida.

A todos los profesores por los conocimientos impartidos hacia mí.

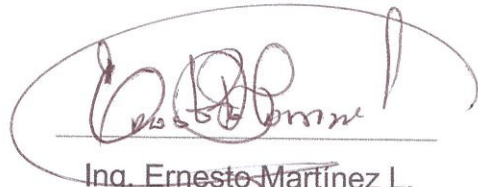
A los directivos de la empresa donde se realizó este proyecto por la oportunidad brindada y a todas las personas que colaboraron en la realización de este trabajo.

Manuel

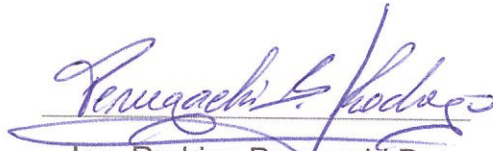
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Jorge Duque R.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Ernesto Martínez L.
DIRECTOR DEL TFG



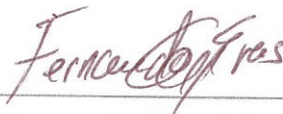
Ing. Rodrigo Perugachi B.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente Trabajo Final de Graduación me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Manuel Fernando Eras López

RESUMEN

El presente proyecto ha surgido de la necesidad de haber realizado las mejoras en el proceso de enfriamiento de una industria que se dedica a la fabricación de productos plásticos mediante el proceso de inyección y soplado, para conseguir de esta manera que las máquinas y moldes tengan un adecuado enfriamiento, y obtener un mejoramiento en la calidad del producto.

Este proyecto consistió en el rediseño del sistema de agua de enfriamiento de la fábrica, que con el tiempo han renovado y han aumentado máquinas inyectoras de plástico, incrementando su volumen de producción diaria, además que cuenta con un sistema de gestión de calidad, la cual compromete a la empresa a seguir mejorando su sistema.

En la actualidad se está utilizando una red de distribución de agua, con dos equipos de enfriamiento de 110 TR y 125 TR para enfriamiento de los moldes que se alternan para trabajar quedando uno como auxiliar, también se usa una torre de enfriamiento con su respectiva bomba, para el enfriamiento del aceite de las máquinas y una bomba que traslada el agua helada desde la cisterna principal hacia la planta para el enfriamiento de los moldes, estos equipos se acercan a la capacidad permitida de trabajo, tanto en enfriamiento como en capacidad de traslado del fluido.

Para mejorar el proceso se realiza un análisis al sistema original que permita obtener resultados que justifiquen técnica y económicamente; la toma de decisiones respecto a reemplazar dichos equipos por otros de mayor eficiencia.

Luego de evaluar las alternativas se diseña un nuevo circuito de distribución de agua helada considerando nueva trayectoria.

El rediseño del sistema de enfriamiento consistió de dos partes fundamentales, como; la selección de tuberías de distribución de agua, para las máquinas de producción y aumento de la capacidad de enfriamiento con la selección de una unidad generadora de agua helada, también llamado Chiller.

En el proyecto se determinó la capacidad de enfriamiento del sistema, velocidad y presión de agua, tanto para el aceite oleohidráulico de máquinas, como así también para el enfriamiento de los moldes, el cual se suministran los planos isométricos, listado de materiales, cronograma de trabajo, y los costos involucrados para en la implementación del sistema.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	ii
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE PLANOS	X
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1. Análisis del problema.	3
1.2. Descripción del proceso general de fabricación.....	7
1.3. Descripción del sistema de agua de enfriamiento	17
1.4. Identificación del problema	24

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	26
2.1. Red de distribución del agua de enfriamiento.	27
2.2. Circulación del agua de enfriamiento	31
2.3. Requerimiento del sistema de enfriamiento	34
2.4. Capacidad de enfriamiento actual	35

CAPÍTULO 3

3.	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	28
3.1.	Modificación de la red actual de distribución del agua de enfriamiento.	43
3.2.	Diseñar nueva red de distribución de agua	46
3.3.	Selección de la mejor alternativa	48

CAPÍTULO 4

4.	REDISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO	45
4.1.	Requerimiento de caudal y temperatura	45
4.2.	Rediseño de la red de distribución de agua de enfriamiento.....	54
4.3.	Dimensionamiento y selección de una unidad generadora de agua helada.	65
4.4.	Selección de la bomba de agua helada.	69

CAPÍTULO 5

5.	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	52
5.1.	Cronograma de trabajo	52
5.2.	Materiales requeridos.....	77
5.3.	Costos de Instalación	78

CAPÍTULO 6

6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
6.1.	Conclusiones.....	74
6.2.	Recomendaciones	85

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

TR:	Toneladas de Refrigeración.
B.P.T:	Bodega de Producto Terminado.
PVC:	Policloruro de Vinilo.
PULG:	Pulgadas
PP:	Polipropileno.
PE:	Polietileno.
BTU:	Unidad Térmica Británica
Lb:	Libra.
Lt:	Litros.
Min:	Minutos.
h:	Hora.
Kg:	Kilos.
m:	metro.
s:	Segundo.
mm:	Milímetro
A:	Área
Di:	Diámetro Interior
Do:	Diámetro Exterior
L. Total:	Longitud Total
AET:	Altura Estática Total
ADT:	Altura Dinámica Total
CANPd:	Carga de Aspiración Neta Positiva Disponible
CANPr:	Carga de Aspiración Neta Positiva Requerida
RPM:	Revoluciones Por Minuto

SIMBOLOGÍA

°C:	Grados Centígrados.
GPM:	Galones por Minuto
HP:	Caballos de Fuerza.
Q:	Calor.
m:	Flujo másico.
Cp:	Calor Específico.
ΔT :	Diferencia de Temperatura
°F:	Grados Fahrenheit
hf:	Pérdidas Por Fricción en la Tubería
V:	Velocidad del Agua.
Pa:	Pascales
Qt:	Caudal Total
m ³ :	Metro Cúbico
Π :	Pi
Re:	Número de Reynolds
ρ :	Densidad
μ :	Viscosidad dinámica
e/D:	Rugosidad Relativa
f:	Fricción
g:	Gravedad
ΔP :	Caída de Presión
Patm:	Presión Atmosférica
γ :	Gravedad Específica
W:	Watt
ν :	Viscosidad Cinemática

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Sistema de Bombeo Inicial	5
Figura 1.2	Distribucion de Tuberias Sistema Antiguo.	6
Figura 1.3	Sistema de Bombeo Actual.	7
Figura 1.4	Máquina de Inyección.	8
Figura 1.5	Diagrama del Proceso De Fabricacion.	9
Figura 1.6	Diagrama de Planta	10
Figura 1.7	Planta de Producción	16
Figura 1.8	Cisterna Inicial de Agua Helada	18
Figura 1.9	Esquema del Sistema de Agua de Enfriamiento	19
Figura 2.1	Manifold de Distribución Agua	34
Figura 2.2	Circuito de Enfriamiento de Máquinas	39
Figura 3.1	Desalojo de Tuberías de Circuito de Agua Antiguo	44
Figura 3.2	Esquema de Circuito Mejorado con Nuevas Bombas	45
Figura 5.1	Instalación Eléctrica de Bombas del Circuito de Agua Helada	75

ÍNDICE DE TABLAS

tabla 1	Distribución Del Personal Que Labora En Planta	12
Tabla 2	Capacidad De Las Cisternas	20
Tabla 3	Distribución De Red Principal De Agua	28
Tabla 4	Distribución De Tuberías En Producción	29
Tabla 5	Distribución De Tuberías En Producción	30
Tabla 6	Toneladas De Refrigeración Requeridas En Máquinas Inyectoras	38
Tabla 7	Consumo de resina anual en máquinas inyectoras	40
Tabla 8	Toneladas de Refrigeración Requeridas En Moldes	41
Tabla 9	Requerimiento De Caudal y Temperatura en Máquinas Inyectoras	52
Tabla 10	Requerimiento De Caudal y Temperatura en Moldes	53
Tabla 11	Recomendaciones De Diseño Para Tuberías	54
Tabla 12	Resultado Total Por Ramal	58
Tabla 13	Resultado Total Por Ramal	59
Tabla 14	Longitud Equivalente En La Succión	63
Tabla 15	Caudal Requerido Por Máquinas Inyectoras	65
Tabla 16	Caudal Requerido Por Moldes	66
Tabla 17	Características Del Chiller 200 TR	67
Tabla 18	Datos De Rendimiento Equipo 200 TR	68
Tabla 19	Longitud Equivalente Por Accesorios	69
Tabla 20	Pérdidas Totales	70
Tabla 21	Equipos y Herramientas	76
Tabla 22	Costo De Construcción Nueva Cisterna	77
Tabla 23	Costo De Materiales Para Circuito Agua De Entrada Y Salida En Máquinas Y Moldes De Inyección.....	78
Tabla 24	Costo De Materiales Para Circuito Agua De Entrada Y Salida Para Enfriador 200 TR	79
Tabla 25	Costo Equipo Enfriamiento y Bombas	81
Tabla 26	Costo De Materiales Eléctricos Equipo Enfriamiento 200tr	82
Tabla 27	Costo Total De La Obra	83

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Cisterna Plapasa

Plano 2 Circuito De Enfriamiento Actual Para Moldes

Plano 3 Circuito De Enfriamiento De Maquinas Utilizando Torre
Enfriamiento- Vista De Planta

Plano 4. Circuito De Enfriamiento De Maquinas Utilizando Torre
Enfriamiento - Isométrico

Plano5. Nuevo Circuito De Enfriamiento Chiller 200 TR – Vista Planta

Plano6. Nuevo Circuito De Enfriamiento Chiller 200 TR – Vista Isométrica

Plano 7. Nuevo Circuito Enfriamiento Agua Helada Para Maquina Y Moldes

INTRODUCCIÓN

La empresa en la cual se desarrolló el proyecto, inicio sus operaciones hace 50 años con la fabricación de productos plásticos elaborados con material de polietileno y polipropileno, mediante el proceso de inyección y soplado.

Debido al crecimiento de la empresa a lo largo de los años, se incrementaron las maquinas inyectoras, sin aumentar la capacidad del sistema de agua de enfriamiento tanto para los moldes como para los intercambiadores de calor de las máquinas.

Por tal motivo se realizó un rediseño del sistema de agua de enfriamiento en la planta.

En el primer capítulo se describe el proceso de inyección del plástico a temperatura de trabajo establecida, para la fabricación del producto a partir de la resina, también se describe el sistema de enfriamiento de máquinas y moldes de inyección plástica.

En el apartado dos se analiza los problemas existentes dentro de la red de distribución de agua, como también la capacidad de enfriamiento del sistema y los requerimientos necesarios para mejorarlo.

El tercer capítulo hace referencia a las alternativas de solución dentro de las cuales se analizan varios factores que incidan en la mejor alternativa factible.

El cuarto capítulo analiza los requerimientos del nuevo sistema de enfriamiento como son la presión, caudal y temperatura de trabajo, se selecciona una nueva unidad generadora de agua helada y la selección del sistema de bombeo.

En el capítulo cinco se presenta los cronogramas de trabajo, los materiales requeridos y los costos de instalación del nuevo sistema.

El ultimo capítulo detalla las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

CAPÍTULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se describe el proceso de inyección para la fabricación de productos plásticos, que se comercializan a nivel nacional. Como parte principal del presente capítulo se describe el análisis general del problema que se presenta en la empresa, en la cual se desarrolló el proyecto, debido a las pérdidas generadas por caídas de presión en el sistema y falta de flujo de agua para el correcto desempeño del sistema de enfriamiento de moldes y máquinas inyectoras que es muy importante para la calidad del producto.

1.1. Análisis del problema.

Desde un inicio la empresa ha venido operando con el mismo diseño del sistema enfriamiento para las máquinas existentes en ese momento, con el pasar de los años se ha incrementado el volumen de producción por lo que se ha requerido incrementar máquinas y moldes de inyección para la fabricación de productos

plásticos, Con el crecimiento de la producción también creció la demanda de agua utilizada para el sistema de enfriamiento requerido, sin embargo solamente se habían aumentado inadecuadamente los tramos de tubería en la red principal y las derivaciones de las tuberías hacia las máquinas. Esto había llevado a que el sistema de enfriamiento sea insuficiente ante la demanda requerida, y limitando la bomba principal que lleva el agua hacia la planta. Ante tal evento el departamento de mantenimiento; conformado por el gerente técnico, asistente técnico, y personal de mantenimiento, junto con la colaboración de la gerencia general se vio en la necesidad de mejorar el sistema, inicialmente, contribuyendo y construyendo una nueva cisterna de mayor volumen y mejorando un tramo de 15m el tamaño de la tubería de retorno de 2 pulg a 4 pulg,

Sin embargo los problemas no se habían solucionado definitivamente, ni se había logrado establecer un consumo real de caudal en las líneas de producción.

En la figura 1.1, se muestra el sistema antiguo con la cisterna de enfriamiento para moldes.



Autor: Manuel Eras

FIGURA 1.1 SISTEMA DE BOMBEO INICIAL

Como se puede apreciar, existían tuberías de salida y retorno en un completo desorden, que no permiten una correcta identificación, causando confusión entre el personal. También se puede ver que la cisterna donde se almacena el agua es abierta y expuesta al entorno, causando que elementos extraños ingresen y alteren el funcionamiento del sistema. Las pérdidas de agua eran constantes, existía fugas de agua que provocaba que los chillers trabajen constantemente. En su etapa inicial es probable que el diseño haya sido el correcto, pero con el pasar de los años y el crecimiento de la empresa, sus redes de distribución se ampliaron inadecuadamente que ha generado un enfriamiento insuficiente en las máquinas de inyección.

Por otro lado la distribución de tuberías de agua hacia la planta también presentaba un desorden total, tuberías que se cruzan unas con otras y completamente deterioradas, como se puede apreciar en la figura 1.2.



FIGURA 1.2 DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS, SISTEMA ANTIGUO

Todos estos problemas de enfriamiento y desorden de distribución de tuberías presentadas en la planta eran cada vez más constantes, lo cual llamo la atención de la gerencia general e hicieron que se tome una solución urgente y el personal de mantenimiento actuará a la brevedad posible.

En el nuevo sistema, la cisterna principal ha sido mejorada, cuenta con una tapa hermética para protegerla de elementos extraños, y existe identificación de las tuberías de salida y de retorno, como así también se eliminaron una serie de tuberías innecesarias que ocasionaban confusión en el sistema.



Autor: Manuel Eras

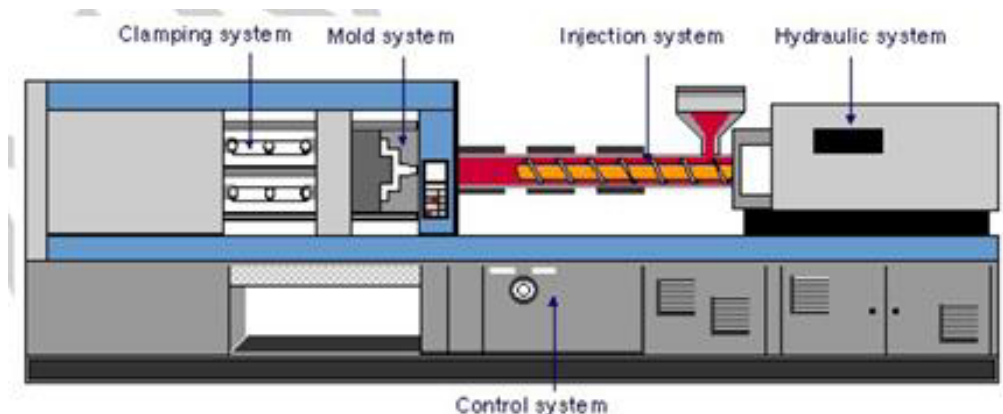
FIGURA 1.3 SISTEMA DE BOMBEO ACTUAL

1.2. Descripción del proceso general de fabricación.

El proceso de la transformación de la resina en productos plásticos se lo realiza en máquinas inyectoras de diferentes capacidades, donde el material granulado se lo mezcla con pigmento en tambores

rotativos durante un determinado tiempo para su homogenización, para luego a través de una tolva ingresa al túnel de calefacción para su plastificación a temperaturas de trabajo que fluctúa entre los 200 y 300°C. Muchas veces esta temperatura depende del material a plastificarse.

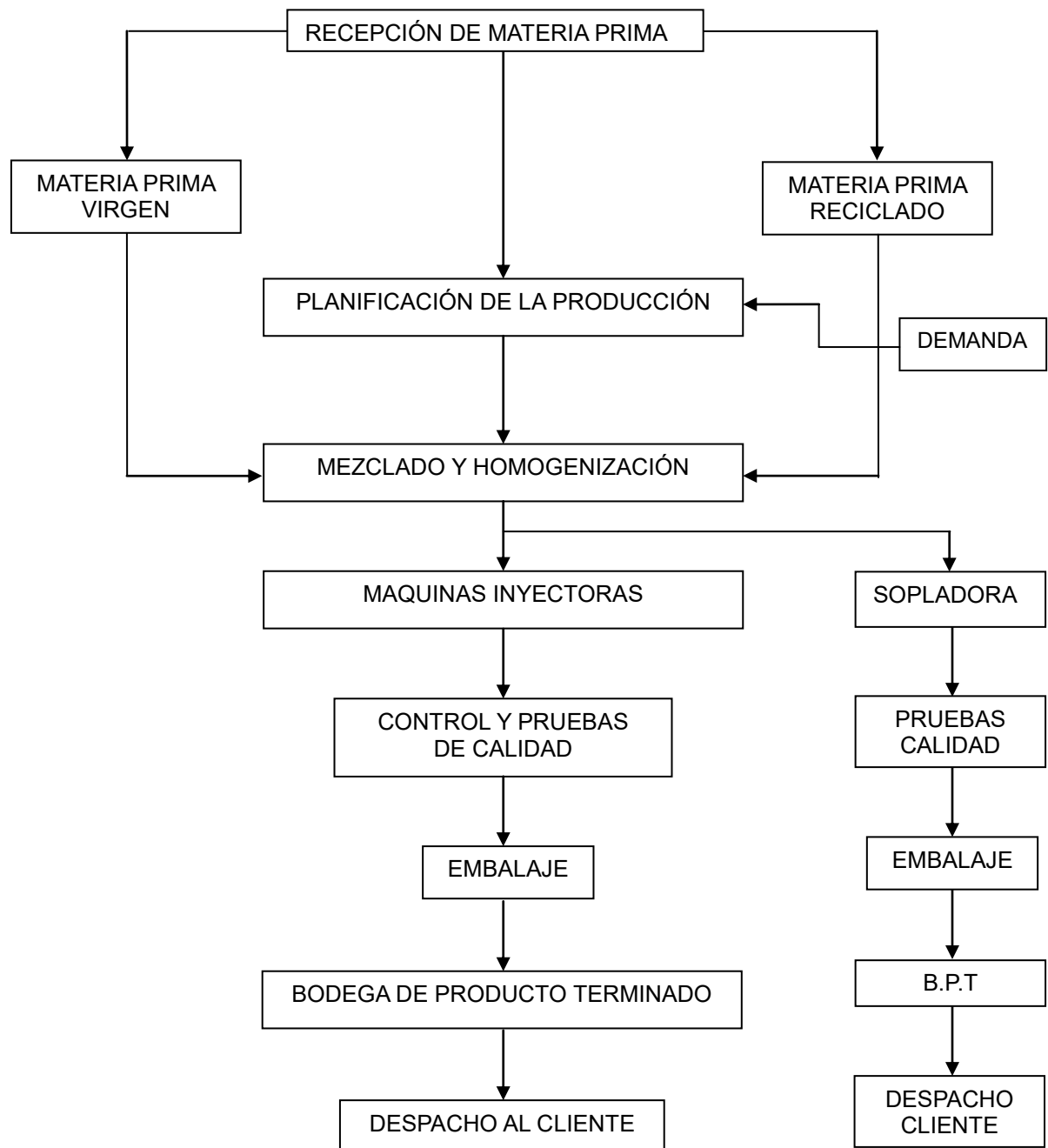
El material plastificado ingresa a la cámara del molde donde se forma el producto de acuerdo a la figura del molde. Para la formación del producto intervienen parámetros de inyección como son presiones, velocidades, temperaturas y tiempo de inyección, con las calibraciones respectivas se logra que el producto salga de forma adecuada de la máquina con las especificaciones requeridas.



Autor: Tomado de AIMPLAS

FIGURA 1.4 MÁQUINA DE INYECCIÓN

DIAGRAMA DEL PROCESO GENERAL DE PRODUCCIÓN



Elaborado por Manuel Eras

FIGURA 1.5. DIAGRAMA DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

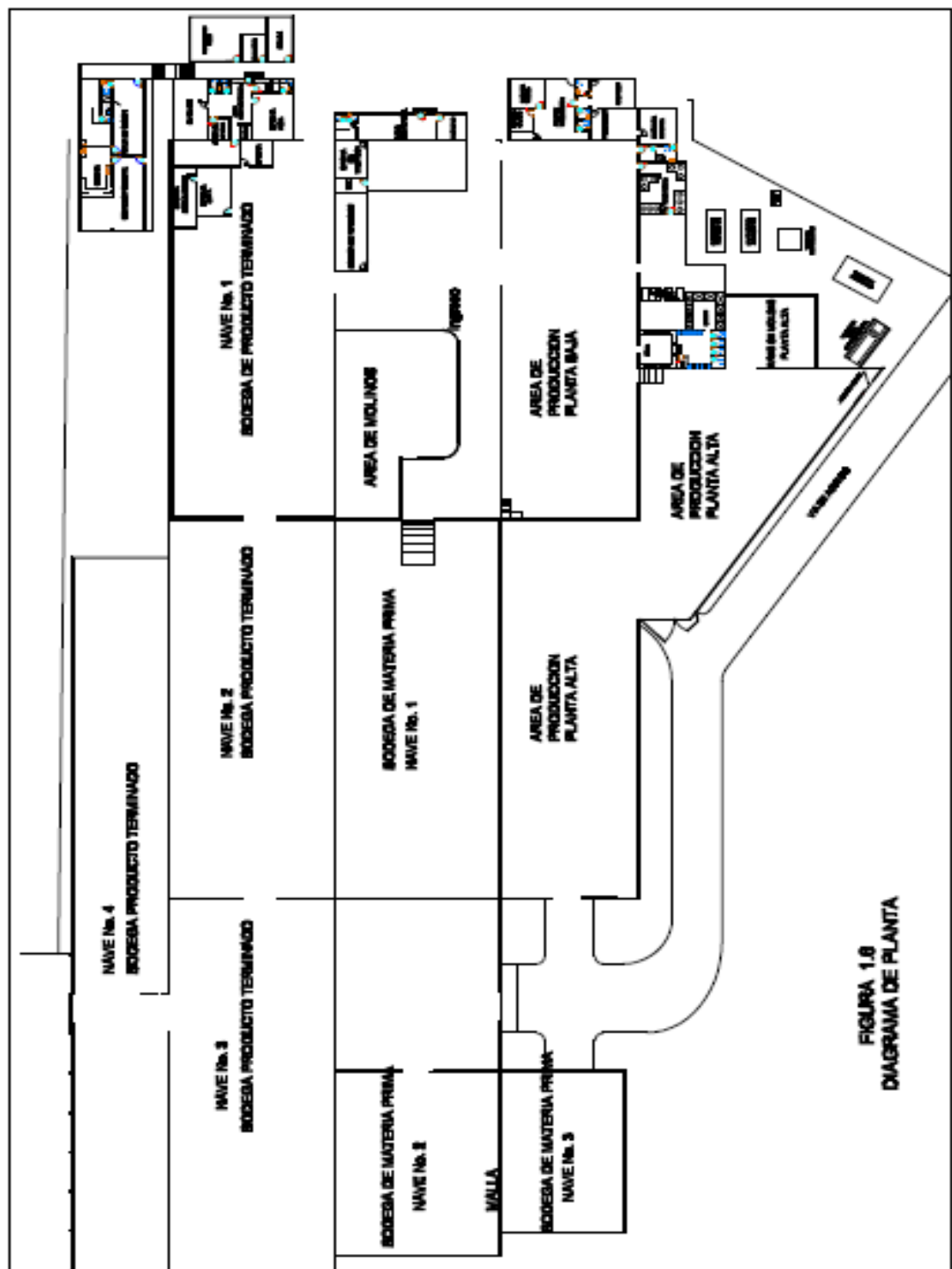


FIGURA 1.8
DIAGRAMA DE PLANTA

Existen 19 máquinas inyectoras y una máquina sopladora que trabajan las 24 horas del día. El tamaño de las máquinas (tonelaje

de cierre), depende de las dimensiones del molde y del peso del artículo que se fabriquen, por esa razón se ha realizado la siguiente clasificación:

Máquinas: Pequeñas, Medianas, Grandes

Moldes: Pequeños, Medianos, Grandes

Máquinas Pequeñas identificadas de la siguiente manera:

D-95, D-155A, D-155B, D-205, D-205 SV, SOPLADORA HAYSEN.

Máquinas Medianas identificadas de la siguiente manera:

D-355, D-455A, D-455B, D-455C, HAITIAN-3200

Máquinas Grandes identificadas de la siguiente manera:

MIR-675, IRMI-3000S, SM-850, G-900A, G-900B, G-900C, G-700SV(A) G-700SV(B), SM-1500.

El proceso de fabricación de los productos plásticos se los realiza en dos turnos rotativos de 12 horas cada uno. La planta está dividida en dos secciones, planta baja y planta alta, y la participación del personal de planta está distribuido de la siguiente manera, como se muestra en la tabla 1

TABLA 1
DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL QUE LABORA EN PLANTA

ÁREA	PERSONAL TURNO 1	PERSONAL TURNO 2	CARGO
Producción	20	20	Operadores
Mantenimiento	2	1	Jefes de turno
	3	0	Mecánicos
	1	1	Eléctricos
TOTAL	48		

AUTOR: MANUEL ERAS

El personal operativo es el encargado de eliminar las rababas excedentes de los artículos que están fabricando, y el personal técnico el encargado de resolver los problemas técnicos que se presenten en las maquinas y moldes, como así también en las regulaciones y calibraciones de las máquinas.

PRODUCTOS

La fabricación de artículos plásticos, posee las siguiente líneas de productos, dentro de las cuales se encuentran un sin número de artículos de diversas categorías. Los productos fabricados son clasificados de la siguiente manera:

Línea Hogar

Línea Escabela

Línea infantil

Línea Barcelona

Línea Eco

Línea Industrial

Línea Hogar

En la línea hogar se fabrica gran variedad de baldes, surtidores de aguas, maceteros, basureros, tachos, lavacaros para limpieza y cocina.

Línea escabela

En la línea escabela se producen sillas, bancos, mesas, cómodas, y organizadores de varios tamaños y modelos.

Línea infantil

En la línea infantil se producen sillas, bancos, mesas, artículos para niños.

Línea Barcelona

La empresa crea una alianza con uno de los principales equipos de fútbol del Ecuador (Barcelona Sporting Club), auspiciando al equipo

con una gama muy variada de artículos de buena calidad con su sello oficial BSC

Línea Eco

Esta línea fue creada para abastecer al mercado con una línea totalmente ecológica, siendo amigables con el medio ambiente y fabricando artículos totalmente reciclados, aportando con el bienestar del medio ambiente.

Línea Industrial

Se creó con la finalidad de reemplazar las cajas de madera, que transportaban cervezas, paulatinamente la cantidad de servicios industriales se diversificó y hoy en día las jabas transportan envases de cervezas, y una cantidad de productos para la floricultura y la industria nacional.

En la Línea Industrial se producen jabas plásticas, gavetas y artículos para actividades de floricultura.

Entre los principales consumidores de jabas plásticas son los embotelladores de bebidas, como Coca Cola, Pepsi Cola, Cerveza Pilsener, Cerveza Club, Pony Malta, entre otros.

Con las gavetas plásticas se atiende al sector agroindustrial, facilitando la transportación de todo tipo de cosechas. Nuestras

gavetas se caracterizan por su durabilidad y resistencia, sus bases reforzadas proporcionan un mejor soporte y seguridad del contenido.

La materia prima usada en los diferentes productos es el polipropileno, polietileno, y poliestireno, proveniente de varios países como Estados Unidos, Taiwán, Brasil. Estos materiales vienen en forma de pellets en sacos de 25 kilos los cuales son almacenados en la bodega de materia prima, para luego pasar al área de pigmentación donde se realiza la mezcla y homogenización de materiales y pigmentos de donde saldrá el color deseado para luego pasar a las máquinas de producción que son alimentadas de estos materiales por el pigmentador de turno.

Para la fabricación de los diferentes productos se requiere el molde adecuado de acuerdo al producto que se va a elaborar. Los moldes de inyección de plástico tienen un circuito de enfriamiento por donde circula el agua helada que enfriará internamente la pieza formada por el molde, de una forma paralela la máquina de inyección debe estar con los parámetros de trabajo establecido para tener un producto formado correctamente.

Una vez que los artículos salen de la máquina estos son embalados por el operador y llevados a la bodega de producto terminado de donde son despachados a los clientes.

En la figura 1.5 se muestra una vista general de la planta de producción.



Autor: Manuel Eras

FIGURA 1.5 PLANTA DE PRODUCCIÓN

Dentro de las líneas de productos que se elaboran, la que más se destaca es la línea industrial donde se elaboran sillas, gavetas y cajas plásticas para embotelladoras, siendo la línea de mayor rotación y donde se requiere pruebas continuas de la resistencia del producto, sin dejar a un lado las líneas restantes que también son importantes.

1.3. Descripción del sistema de agua de enfriamiento

Es un sistema de distribución de agua por tuberías y conductos que su finalidad es la de distribuir uniformemente el agua. Existen dos métodos de reparto: por gravedad o por presión. En el caso de la industria plástica para la cual se elaboró el proyecto, el sistema es un circuito cerrado, la tubería contiene el agua con cierta presión (suministrada por las bombas de impulsión). El sistema de enfriamiento inicial de la planta constaba con una cisterna construida con planchas metálicas dividida en dos partes para la salida y retorno del agua provenientes de las máquinas, la cisterna carecía de la distribución adecuada de tuberías para la salida y el retorno del agua. El desperdicio de agua era constante y abierta al entorno expuesta a los diversos desechos que puedan ingresar. En la figura 1.6 se muestra la cisterna inicial de agua helada con tuberías de entrada y de salida del sistema.



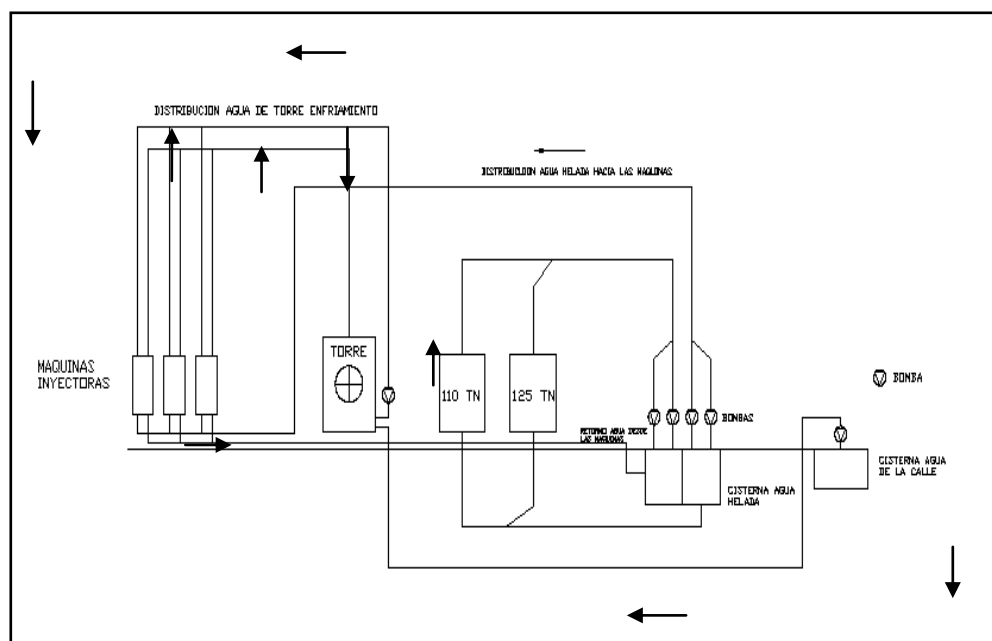
Autor: Manuel Eras

FIGURA 1.6 CISTERNA INICIAL DE AGUA HELADA

Actualmente el sistema de enfriamiento de la planta ha sido mejorado, consta con dos cisternas de agua, una almacena agua templada proveniente del exterior (calle) y la otra agua helada, para el enfriamiento de máquinas y moldes de inyección, también tiene dos líneas de tuberías principales que transportan agua helada y agua templada hacia las máquinas de inyección y soplado. Estas trabajan de forma separada y constan de las siguientes partes:

- ✎ 2 Cisternas
- ✎ Equipos auxiliares (1 torre de enfriamiento, 2 chillers, bombas)
- ✎ 2 Red de distribución de agua.

En la figura 1.6 se muestra un esquema detallado del sistema de enfriamiento donde se incluyen equipos auxiliares y tuberías de distribución de agua.



Autor: Manuel Eras

FIGURA 1.7 ESQUEMA DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

Esta cisterna es principal para la distribución de agua helada hacia la planta, trabaja en ciclo cerrado, y es la que ayuda a disminuir la temperatura del agua proveniente de los moldes de inyección que están trabajando en las diferentes máquinas. Esta agua usada para el enfriamiento de moldes inicialmente se encuentra a temperatura ambiente de 30°C antes de pasar por el equipo de enfriamiento el

cual baja la temperatura de agua a los 9° y 10°C. Esta temperatura es la que recibe el molde para su enfriamiento, luego de recibir el material caliente plastificado que entra a las cavidades del molde a una temperatura con un rango de 200 a 300°C. Por ser un ciclo cerrado no se generan grandes pérdidas. La siguiente tabla muestra las capacidades de las cisternas.

TABLA 2
CAPACIDAD DE LAS CISTERNAS

Cisternas	Capacidad en m3
Cisterna vieja	$2.10 \times 2.10 \times 2 = 8.82$
Cisterna Nueva	$2.60 \times 2.60 \times 1.70 = 11.49$
Cisterna alimenta agua a la torre enfriamiento	$1.80 \times 1.80 \times 2 = 6.48$

Autor: Manuel Eras

Como se puede apreciar en la tabla, la nueva cisterna tiene mayor capacidad de almacenamiento de agua que permite mantener una cota normal en la distribución de agua helada hacia la planta.

Cisterna de agua templada para enfriamiento de máquinas

Esta cisterna es la que almacena el agua a temperatura ambiente (26°C), que luego es enviada a la torre de enfriamiento por medio de una bomba pequeña (2hp) para posteriormente ser distribuida y recirculada a través de las tuberías para el enfriamiento del aceite de las máquinas de inyección y de la máquina sopladora.

Cisterna de agua helada para enfriamiento de moldes

Esta cisterna es la más grande y tiene dos comparticiones iguales en las cuales llega el agua caliente proveniente de los moldes de inyección y la cual a su vez disminuye la temperatura del agua por medio de los chillers para nuevamente ser enviada a la planta.

Equipos auxiliares

La fábrica cuenta con los siguientes equipos auxiliares para el enfriamiento de máquinas y moldes:

- Torre de enfriamiento
- Chillers
- Bombas

Torre de enfriamiento

La torre de enfriamiento es de tipo ventilación forzada donde el agua y el aire están en contacto directo provocando una turbulencia de mezclado donde se genera una transferencia de calor que es necesario para el enfriamiento del aceite de las máquinas.

La evaporación de agua en la torre provoca una disminución del volumen de agua de ésta. La evaporación y las purgas hacen que sea necesario el aporte

Constante de agua.

Unidad generadora de agua helada (Chillers)

La planta cuenta con dos chillers de 110 TR, y 125TR utilizados para el enfriamiento de los moldes de inyección, el chiller de 125 TR se lo ha estado usando como principal, y el de 110 TR como equipo auxiliar, pero actualmente usamos los dos equipos debido al poco enfriamiento que genera uno solo.

Red de distribución de agua.

En la planta existen dos redes principales de distribución de agua para el enfriamiento de las máquinas y el enfriamiento de los moldes. La red de agua helada llamada así para el enfriamiento de

moldes, y la red de agua de torre, llamada así para el enfriamiento de máquinas.

La red para el enfriamiento de máquinas es la que viene de forma aérea desde la torre de enfriamiento, y la red para el enfriamiento de los moldes de inyección es la que viene a nivel del piso desde los chillers.

Estas dos redes son fundamentales para el sistema de enfriamiento y trabajan de forma paralela y que se derivan a través de tuberías para cada máquina y tienen la característica de unirse en las derivaciones a través de los bypass, con el fin de trabajar con los dos sistemas al mismo tiempo. También cuentan con un catalizador en el inicio de la red para eliminar las incrustaciones a través del paso del fluido.

Bombas

Cuentan con 2 conjuntos de bombas, uno de ellos que trabaja con los chillers que consta de dos bombas, una en operación y una en reserva, estas se encargan de impulsar el agua para refrigerarla, y el otro conjunto que manda el agua helada hacia las máquinas que consta de una bomba en funcionamiento y otra en reserva, instaladas en el sistema.

1.4. Identificación del problema

En la fabricación de productos plásticos se utiliza el agua como un medio de enfriamiento para mantener la temperatura de trabajo de los moldes y de las máquinas en condiciones aceptables. Se utiliza el agua helada para el enfriamiento de moldes y el agua templada para el enfriamiento de máquinas, mientras mejor y eficiente sea el funcionamiento del sistema de enfriamiento mejor será el producto fabricado. Por esa razón es muy importante tener un circuito de enfriamiento eficiente, así mejoramos el proceso de fabricación de los productos, y reducimos considerablemente las rebabas que algunos productos puedan generar y mejorar los ciclos de producción al disminuir el tiempo de enfriamiento.

Desde hace 6 años la fábrica ha venido incrementado su volumen de producción, y en conjunto renovando sus máquinas inyectoras de plástico, adquiriendo nuevas máquinas, todo esto debido al crecimiento de la demanda local, dejando a un lado las máquinas viejas que a diario tenían daños frecuentes, pero sin mejorar el sistema de enfriamiento, cuyo sistema en gran parte está compuesto por ramales de tuberías de diámetro diferente a lo largo de toda su trayectoria.

La planta cuenta con una tubería principal de salida de 2 pulgadas y una tubería de retorno de 3 pulgadas que limita el flujo normal de

regreso, originando una contrapresión en la salida y como resultado las mangueras que llevan el agua a los circuitos de los moldes se revientan constantemente.

La bomba de alimentación de agua hacia la planta es limitada, y cuando se trabaja con moldes que tienen más de 80 circuitos de enfriamiento, como son las cajas plásticas la presión no abastece y se genera frecuentemente caídas de presión en la última máquina inyectora (G-900C), de 900 toneladas de cierre, obligando a subir el ciclo de producción de las cajas plásticas.

En la actualidad se han realizado cambios para mejorar el sistema como construyendo una nueva cisterna de agua helada, cambiando un tramo de la tubería de retorno de 2 pulgadas a 4 pulgadas, con estos cambios realizados hemos mejorado, pero no ha sido suficiente ya que se están produciendo mayor cantidad de cajas plásticas que requieren más enfriamiento por la cantidad de circuitos hidráulicos que llevan, lo que genera que la presión y caudal disminuyan considerablemente, generando inconvenientes en la producción .

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS DE LOS PROBLEMAS DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

Como en todo proceso de enfriamiento de agua, éste constituye un medio de refrigeración para muchas aplicaciones dentro de la industria, y en la industria plástica es de gran ayuda para el enfriamiento de las máquinas, utilizando una torre de enfriamiento y de los moldes de inyección plástica mediante un chiller, circuitos independientes para enfriamiento máquinas y moldes. El flujo de agua a través del circuito de refrigeración debe recircular cuantas veces sea necesario para mantener la temperatura adecuada, caso contrario pueden causar elevadas temperaturas en el aceite de las máquinas y en las paredes de los moldes de inyección, que provocaría artículos defectuosos y aumento en los tiempos de enfriamiento, elevando el costo de fabricación del producto.

Los Problemas que se presentan debido a un mal diseño del sistema de la red pueden causar: grandes pérdidas de energía, y paradas continuas de producción de la planta.

Los problemas de producción presentados en la fábrica son una consecuencia del limitado flujo de agua helada y del límite de la capacidad en las unidades generadoras de agua helada, estos parámetros limitadores de agua helada son más evidente cuando se trabaja con jabs plásticas donde se requiere mayor enfriamiento y un mayor flujo de agua helada a través de las tuberías.

2.1. Red de distribución del agua de enfriamiento.

La distribución de agua para el enfriamiento de máquinas y moldes parte de dos circuitos principales independientes distribuidos de la siguiente forma.

Enfriamiento de moldes

Inicia desde una cisterna principal donde almacena agua helada enfriada por los chillers. La tubería de salida desde la bomba es de 4 pulgadas hasta llegar a un distribuidor principal de 6 pulgadas, del cual parte una única tubería de 2 pulgadas hasta llegar a la última máquina (G-900C), la tubería de retorno es de 3 pulgadas a lo largo

de todo el trayecto, y en determinado momentos cuando se prenden las máquinas para iniciar una nueva semana de producción se generan contrapresiones en varias salidas de retorno de diferentes máquinas, que causan que se revienten las mangueras, esto se da porque en varios ramales el flujo es mayor y va aumentando a lo largo del recorrido. El diámetro de las tuberías de los ramales secundarios que llegan a las máquina son de 1 ½ pulgadas. Las tuberías que transportan el agua helada carecen de aislamiento térmico prolongando el funcionamiento de los chillers, que en algunos momentos trabajan continuamente sin tiempo de parada.

TABLA 3.
DISTRIBUCIÓN DE RED PRINCIPAL DE AGUA.

RED AGUA	Ø TUBERÍA	MATERIAL	DISTRIBUCIÓN
Entrada	2 pulgadas	PVC	Maquinas inyectoras Maquina sopladora
Salida	3 pulgadas	PVC	
Ramales	1 1/2	PVC	

Elaborado por: Manuel Eras

Enfriamiento de máquinas

Inicia desde una segunda cisterna secundaria donde se extrae agua a temperatura ambiente hacia la torre de enfriamiento. Desde la torre de enfriamiento es llevada esta agua a través de una bomba de succión con un caudal de 400 GPM. La tubería de salida es de 6 pulgadas de diámetro y durante el trayecto cambia drásticamente a 2 pulgadas, para luego finalizar en 3 pulgadas hasta llegar a la última máquina (G-900C). El diámetro de las tuberías de los ramales secundarios que llegan a las máquina son de 1 ½ pulgadas.

TABLA 4.
DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS EN PRODUCCIÓN

DISTRIBUCIÓN AGUA HELADA CHILLERS	DIÁMETRO TUBERÍA PRINCIPAL	DIÁMETRO TUBERÍA SECUNDARIA	MATERIAL TUBERÍA
G-700 SV (A)	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
G-700 SV (B)	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
MIR-675	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
SM-850	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
SM-1500	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
G-900A	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
G-900B	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
D-205	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
D-455B	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
D-205 SV	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
D-155A	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
D-95	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC

D-155B	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
D-455C	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
D-355	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
HAITIAN-3200	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
G-900C	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
IRMI 300S	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
D-455A	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC
HAYSEN	2 PULG	1 1/2 PULG	PVC

Elaborado por: Manuel Eras

TABLA 5
DISTRIBUCIÓN DE TUBERÍAS EN PRODUCCIÓN

DISTRIBUCIÓN AGUA TEMPLADA	DIÁMETRO	DIÁMETRO	MATERIAL
TORRE ENFRIAMIENTO	TUBERÍA PRINCIPAL	TUBERÍA SECUNDARIA	TUBERÍA
G-700 SV (A)	2 PULG	2 PULG	PVC
G-700 SV (B)	2 PULG	2 PULG	PVC
MIR-675	6 PULG	2 PULG	PVC
SM-850	6 PULG	2 PULG	PVC
SM-1500	6 PULG	2 PULG	PVC
G-900A	3 PULG	2 PULG	PVC
G-900B	3 PULG	2 PULG	PVC
D-205	3 PULG	2 PULG	PVC
D-455B	3 PULG	2 PULG	PVC
D-205 SV	3 PULG	2 PULG	PVC
D-155A	3 PULG	2 PULG	PVC
D-95	3 PULG	2 PULG	PVC
D-155B	3 PULG	2 PULG	PVC
D-455C	3 PULG	2 PULG	PVC
D-355	3 PULG	2 PULG	PVC
HAITIAN-3200	3 PULG	2 PULG	PVC
G-900C	3 PULG	2 PULG	PVC

Elaborado por Manuel Eras

Cuando se trabaja con la torre de enfriamiento para enfriar los intercambiadores de calor de las máquinas, no existe problema en el enfriamiento del aceite que se mantiene en un rango de 45 y 55°C, el caudal generado por la bomba de succión en este circuito es suficiente para enfriar las máquinas.

El problema surge cuando la torre de enfriamiento entra a mantenimiento por el lapso de 6 días, y entran a trabajar los chillers para el enfriamiento de aceite de las máquinas. Se limita el enfriamiento de los moldes, ya que parte del agua helada se distribuye al enfriamiento de las máquinas y es cuando el caudal generado por la bomba agua helada abastece para los dos circuitos. (250 GPM).

2.2. Circulación del Agua de Enfriamiento

El moldeo por inyección, requiere del siguiente sistema de enfriamiento:

Enfriamiento de máquinas, donde los intercambiadores de calor deben enfriarse para un correcto funcionamiento de la máquina.

Enfriamiento de proceso, incluye aquellas partes que deben enfriarse a temperatura controlada, para la plastificación del producto una vez procesados, en nuestro caso son los moldes, los cuales forman la figura inyectada.

Todas las máquinas inyectoras de plástico son de funcionamiento oleo hidráulico. La temperatura adecuada del aceite en funcionamiento varía entre los 35° y 50° C. Las máquinas inyectoras están provistas de un intercambiador térmico de agua-aceite. Un aceite muy frío, es decir muy viscoso, implica un elevado consumo de energía por parte del motor de la bomba, lo que acorta su propia vida útil. Por otro lado un aceite muy caliente, es decir con poca viscosidad, provoca filtraciones en las juntas, y a largo plazo la reducción de su vida útil de operación. Para el enfriamiento de las 20 máquinas que actualmente tiene la fábrica se utiliza el agua proveniente de la torre de enfriamiento, con una temperatura de 25 grados centígrados, suficiente para mantener la temperatura del aceite de las máquinas. El caudal que fluye a través de las maquinas inyectoras es determinado de los manuales de funcionamiento de las máquinas, mientras el caudal que circula en el otro circuito de refrigeración de los moldes es determinado en base a la resina consumida por hora de trabajo.

En el enfriamiento de moldes, las condiciones de la temperatura son de mucha importancia para lograr la mejor calidad y mayor productividad del proceso. Mientras más se disminuye el tiempo de enfriamiento, más aumentará la productividad. Del mismo modo, un enfriamiento correcto mejora la calidad del producto y se minimiza el desperdicio.

El sistema de agua de enfriamiento para moldes funciona en circuito cerrado, parte de una cisterna principal en la que por medio de una bomba de 15 Hp lleva el agua a través de un tubería de 4 pulgadas hasta llegar al distribuidor principal de agua (manifold), para luego distribuirse con tubería de 2 pulgadas de diámetro que tiene ramales en su trayecto de 1 ½ pulgadas que van a los manifolds colocados en cada máquina para el enfriamiento de los moldes de producción. Retorna con tubería de 3 pulgadas a lo largo de la mitad del trayecto y se empata con tubería de 4 pulgadas la segunda mitad hasta llegar a la cisterna de enfriamiento.



Autor: Manuel Eras

FIGURA 2.1 MANIFOLD DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL.

2.3. Requerimiento del sistema de enfriamiento

Las máquinas y moldes de inyección requieren de un medio de enfriamiento para mantener las temperaturas de trabajo adecuadas. El agua es un medio idóneo para mantener la temperatura del aceite de las máquinas y la temperatura de los moldes generada por la plastificación del producto dentro del molde.

Los moldes son colocados en las máquinas de inyección (lo que llamamos montaje de moldes), para luego proceder a instalar el circuito de agua de los moldes, estos tienen ductos internos de

refrigeración por donde pasa el flujo de agua a diferente temperatura para el enfriamiento del mismo.

El flujo de agua helada pasa a través de un circuito interno que tiene cada molde para el enfriamiento de las paredes del molde. Esta temperatura debe ser lo más uniforme posible a lo largo de todos los puntos.

Se requiere que el agua se mantenga a baja temperatura menor a los 10 grados centígrados procesada en una unidad generadora de agua helada (chiller), que es bombeada a la planta, y que será para el enfriamiento de moldes de inyección de productos plásticos.

También se requiere que el agua que se utiliza para enfriar las máquina inyectoras se mantenga por debajo de los 27 grados centígrados, la cual es procesada en una torre de enfriamiento

Los productos a enfriar son fabricados con material polipropileno (PP) y polietileno (PE).

2.4. Capacidad de enfriamiento actual

Actualmente se trabaja con una torre de enfriamiento de 400 TR, utilizada para el enfriamiento del aceite de las máquinas, hasta el momento es suficiente para mantener la temperatura del aceite en condiciones de trabajo que fluctúa entre los 40 y 50°C.

Para el enfriamiento de los moldes se utiliza los dos chillers de 110 y 125 TR. Inicialmente se trabajaba con un solo equipo de 110 TR, pero debido al crecimiento de la planta y a la progresiva demanda de producción, se han aumentado máquinas y moldes, los cuales requieren mayor flujo de agua y enfriamiento. Por tal motivo se tuvo que disponer de un segundo chiller de 125 TR para abastecer la demanda. Aparentemente tenemos suficiente capacidad de enfriamiento para realizar el proceso. Pero cabe señalar que los dos chillers continuamente están teniendo fallas en su funcionamiento, lo que restringe muchas veces a trabajar con un solo equipo generador de agua helada, y a esto le sumamos las paradas por mantenimiento en la torre de enfriamiento que bordean los 6 días de parada.

Es entonces cuando surge la necesidad de aumentar la capacidad de los chillers para enfriar las máquinas y los moldes desde un solo equipo de refrigeración. Para poder elegir el equipo de enfriamiento correcto, se determinará la capacidad de enfriamiento actual, luego se realizarán los cálculos para establecer la capacidad de enfriamiento que se requiere.

Determinación de la capacidad de enfriamiento actual de la planta

La capacidad de enfriamiento actual del sistema se determinará en base a los kilos consumidos de material usado en la fabricación de los productos, en este caso, el material usado es el polipropileno, mediante la siguiente ecuación:

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

Donde se utilizarán las propiedades físicas del material a temperatura de plastificación o fusión ($250^{\circ}\text{C} = 482^{\circ}\text{F}$), y temperatura de formado del producto ($70^{\circ}\text{C} = 158^{\circ}\text{F}$).

Calor específico PP: 0.667 BTU/LB $^{\circ}\text{F}$

Gradiente de temperatura: 324 $^{\circ}\text{F}$

En las tablas 6, 7 y 8 se presenta las toneladas de refrigeración requeridas por las máquinas de inyección, resina anual consumida por máquinas, y toneladas de refrigeración consumidas por moldes.

TABLA 6.
TONELADAS REFRIGERACIÓN REQUERIDAS EN MÁQUINAS
INYECTORAS

ENFRIAMIENTO DE MÁQUINAS INYECTORAS					
ÍTEMS	MÁQUINAS	CAUDAL		CALOR	TONELADAS
		lt/min	GPM	(btu/h)	REFRIGERACIÓN
1	G-700A	60	16	40541	3,4
2	HAYSSEN	10	3	6757	0,6
3	IRMI-3000	60	16	40541	3,4
4	MIR-675	60	16	40541	3,4
5	SM-850	60	16	40541	3,4
6	SM-1500	80	22	54054	4,5
7	D-455A	38	10	25676	2,1
8	G-900A	70	19	47297	3,9
9	G-900B	70	19	47297	3,9
10	D-205	10	3	6757	0,6
11	D-455B	38	10	25676	2,1
12	D-155A	10	3	6757	0,6
13	D-205SV	10	3	6757	0,6
14	D-155B	10	3	6757	0,6
15	D-95	8	2	5405	0,5
16	D-455C	38	10	25676	2,1
17	D-355	30	8	20270	1,7
18	HAITIAN-3200	30	8	20270	1,7
19	G-900C	70	19	47297	3,9
20	G-700B	60	16	40541	3,4
TOTAL		822	222	555405	46,3

Elaborado por Manuel Eras

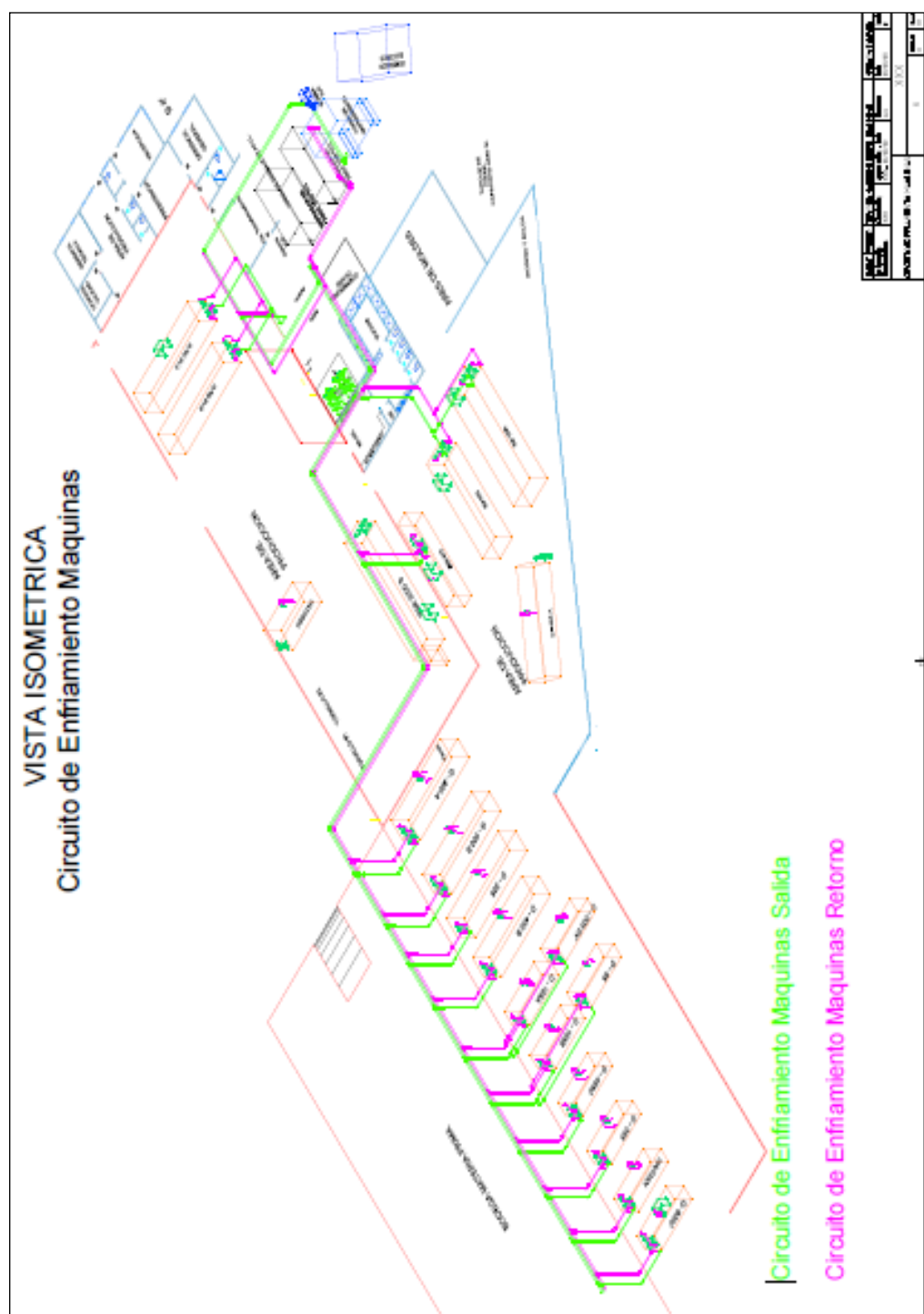


Figura 2.2

TABLA 7
CONSUMO DE RESINA ANUAL EN MÁQUINAS INYECTORAS
PRODUCTOS DE MAYOR ROTACIÓN

ÍTEMS	PRODUCTOS FABRICADOS	CONSUMO RESINA
		ANUAL (KG)
1	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	1426628,571
2	POMOS	81383,22581
3	SILLAS	1067372,308
4	CAJA PLÁSTICA (PEPSI)	1121953,846
5	MESA CUADRADA	816225,8824
6	MESA REDONDA	1156320
7	SILLAS PEQUEÑAS	911040
8	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	1426628,571
9	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	1426628,571
10	BANCO PEQUEÑO	278690,2326
11	SILLAS PEQUEÑAS	911040
12	TAZONES	147825
13	BANCO PEQUEÑO	399456
14	TAZONES	147825
15	TAPAS DE POMOS	70956
16	SILLAS PEQUEÑAS	911040
17	BALDES	622421,0526
18	BALDE BASURERO	840960
19	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	1426628,571
20	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	1426628,571
TOTAL		16617651,4

Elaborado por Manuel Eras

TABLA 8
TONELADAS DE REFRIGERACIÓN REQUERIDAS EN MOLDES

ENFRIAMIENTO PARA MOLDES DE INYECCIÓN				
ÍTEMS	PRODUCTOS FABRICADOS	CAUDAL	CALOR	TN REFRIGERACIÓN
		GPM	BTU/H	MOLDES
1	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,38	81915,73	6,82
2	POMOS	0,93	4672,95	0,38
3	SILLAS	12,25	61287,56	5,10
4	CAJA PLÁSTICA (PEPSI)	12,88	64421,58	5,36
5	MESA CUADRADA	9,37	46866,96	3,90
6	MESA REDONDA	13,27	66394,86	5,53
7	SILLAS PEQUEÑAS	10,46	52311,10	4,35
8	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,38	81915,73	6,82
9	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,38	81915,73	6,82
10	BANCO PEQUEÑO	3,20	16002,14	1,33
11	SILLAS PEQUEÑAS	10,46	52311,10	4,35
12	TAZONES	1,69	8487,97	0,70
13	BANCO PEQUEÑO	4,58	22936,40	1,91
14	TAZONES	1,69	8487,97	0,70
15	TAPAS DE POMOS	0,811	4074,23	0,33
16	SILLAS PEQUEÑAS	10,46	52311,10	4,35
17	BALDES	7,14	35738,86	2,97
18	BALDE BASURERO	9,65	48287,17	4,02
19	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,38	81915,73	6,82
20	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,38	81915,73	6,82
TOTAL		190,83	954170,69	79,51

Elaborado por Manuel Eras

La carga de refrigeración total del sistema que necesitamos es de 125.8 toneladas de refrigeración, (46.3 TR para enfriamiento de máquinas y 79.5 TR para enfriamiento de moldes).

CAPÍTULO 3

3. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para enfriar agua es muy importante tener presente las consideraciones que mejoran el modo de enfriamiento del agua y que pueden significar un mejor rendimiento en el proceso industrial. Es por eso que las diversas formas de enfriamiento pueden ser mejoradas en base a estudios que cumplen las especificaciones requeridas.

Se requiere remover el calor generado por las máquinas y moldes de inyección plástica, mientras se encuentren en proceso de producción. Se plantea dos alternativas de solución para el sistema de enfriamiento, para posteriormente escoger la más adecuada.

El presente capítulo tratará estas alternativas de la solución para mejorar el sistema de enfriamiento actual de la planta. Sin duda alguna, tendremos mejora en el ciclo de producción y reduciremos los desperdicios de material plástico y eliminaremos las pérdidas de agua en

El sistema como así también las fugas constantes de agua en la cisterna principal. Para lograrlo debemos modificar la red de tuberías principales como así también los ramales de estas que van a los manifold de cada máquina, porque existen manifolds que requieren mayor enfriamiento que el actual esto debido a los diferentes moldes que suben en las máquinas y que requieren mayor enfriamiento.

Por otro lado la selección de un equipo generador de agua helada (chillers) es fundamental para abastecer la demanda que se requiere y aliviar el trabajo de los chillers actuales. Seleccionar una bomba adecuada para mejorar el flujo y las presiones en el sistema de manera que permitan tener mejor control en cada máquina.

3.1. Modificación de la red actual de distribución del agua de enfriamiento.

Realizar la modificación de la red de distribución de agua helada, es un paso importante que se debe llevar a cabo, esto debido a que no existe una instalación adecuada en el transporte del fluido, necesitamos llegar con el caudal suficiente hacia la distribución de agua de máquinas y moldes.

El circuito a instalarse sería uno solo, con un circuito cerrado el mismo que debe llegar a cada máquina inyectora y a cada molde.

Este circuito parte desde un distribuidor principal que divide el flujo en dos ramales principales con tuberías controladas con llave de paso para limitar el flujo de agua requerido a través del sistema.

Desde hace algún tiempo, la fábrica ha realizado mejoras en la red de distribución del sistema de enfriamiento, se ha construido una nueva cisterna de agua, se han eliminado tuberías que tenían muchos años de uso y otras tuberías que no se han estado usando, tal como se muestra en la figura 3.1



Elaborado por Manuel Eras.

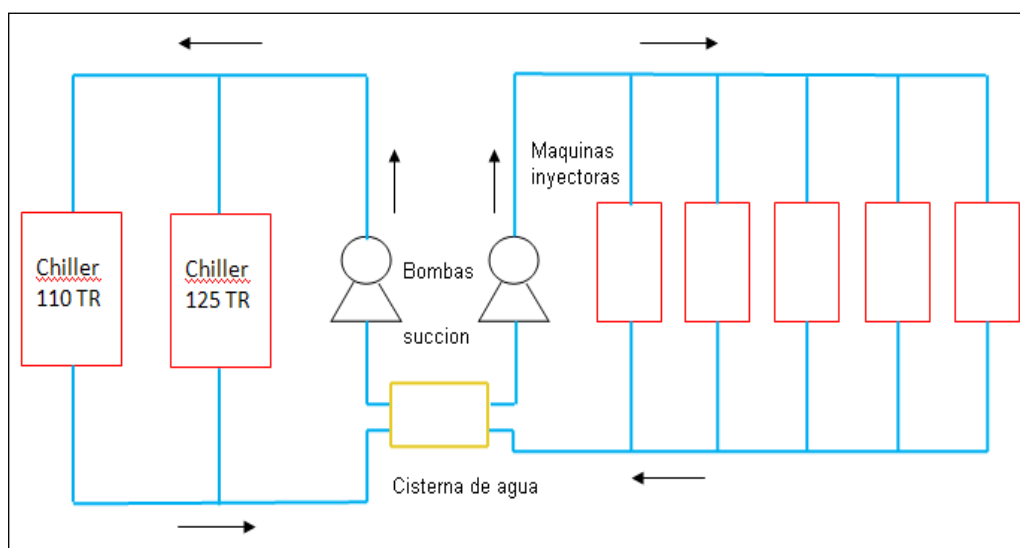
FIGURA 3.1 DESALOJO DE TUBERÍAS DE CIRCUITO DE AGUA ANTIGUO

Se ha colocado nuevas bombas de succión con la capacidades requeridas por equipo generador de agua helada, también se ha comprado una bomba para el agua helada que se lleva a la planta para el enfriamiento de los moldes y máquinas. Todos estas

modificaciones se las ha realizado sin tener parámetros de medición y comparación, no se han tomado datos ni se han realizado cálculos numéricos para verificar las condiciones de trabajo y la capacidad de enfriamiento que se necesita.

De alguna manera estas modificaciones han ayudado a mejorar la infraestructura de la planta, y se han reducido las paradas por daños en la red de tuberías del sistema. Dentro de las modificaciones realizadas hasta el momento consta lo siguiente:

- Aumentar el tamaño de retorno de la tubería actual que es de 3 pulgadas
- Aumentar el tamaño de las bombas de succión.



Autor: Manuel Eras

FIGURA 3.2 ESQUEMA DE CIRCUITO MEJORADO CON NUEVAS BOMBAS

Como se puede ver en el gráfico, se han realizado mejoras, pero aún nos falta mejorar más el sistema. Por esta razón se colocara un nuevo chiller que reúna las condiciones necesarias para mejorar el enfriamiento, esto se hará de acuerdo a los cálculos realizados en el capítulo cuatro.

Ventajas

- Es una red existente en la cual ya tiene definido un recorrido del flujo de agua.
- Menor tiempo de trabajo. Es fundamental debido a los requerimientos de producción.
- Menor costo del trabajo realizado.

Desventajas

- Hay que parar la producción para realizar los trabajos de modificación.
- No hay levantamiento de información del sistema actual.

3.2. Diseñar Nueva Red de Distribución de Agua

Muchas industrias plásticas optan por diseñar una nueva red de agua para enfriamiento de máquinas y moldes. Al diseñar una nueva red, buscamos un ahorro y que la distribución de agua en una red hidráulica para las 20 máquinas de inyección sea uniforme,

donde no existan fugas constantes de agua y más bien reducir ese consumo, hacer más eficiente el sistema implementando nuevas bombas que mejoren el enfriamiento de los moldes y máquinas. Diseñar una nueva red implica que se debe hacer un levantamiento de información, llevar la red de tuberías por donde haya menos resistencia a las pérdidas durante su trayectoria, y que sobre todo tenga una larga duración sin que exista paradas por daños en su recorrido.

Dentro del nuevo sistema consta lo siguiente:

- Cambiar la tubería actual de entrada y salida
- Aumentar la capacidad de las bombas
- Cambiar los manifolds de distribución principal
- Cambiar los ramales que van hacia las máquinas.
- Aumentar la capacidad de enfriamiento.

Ventajas

Documentación del sistema, incluyendo planos

Red de tuberías independientes.

Desventajas

Mayor tiempo de ejecución de la obra.

Pruebas de funcionamiento.

Costo de construcción.

3.3. Selección de la mejor alternativa

Para seleccionar la mejor alternativa del sistema de enfriamiento para las máquinas y moldes de inyección, se utilizará una matriz de decisión de acuerdo a las ventajas y desventajas que brinda cada sistema, se ha analizado los parámetros de mayor importancia en el proceso de la solución del problema, asignando a cada uno un porcentaje de acuerdo a la importancia y fiabilidad que este brinda para escoger la mejor solución.

Parámetros de medición

1. Abastecimiento de agua para el enfriamiento de máquinas y moldes.
2. Costos instalación del sistema de la red de enfriamiento
3. Mantenimiento de equipos.
4. Duración del sistema.

Considerando las ventajas, desventajas, y de acuerdo a los parámetros de medición, he considerado que la mejor alternativa es

modificar la red actual, aún más, sabiendo que ya se han realizado paulatinamente mejoras en el sistema, incluyendo tramos de tuberías en el retorno de agua helada, como también un nuevo sistema tendría un recorrido similar al actual, esto debido a la posición de las máquinas dentro de la planta, y por los costos que llevaría realizar un nuevo diseño.

Por lo expuesto, se desarrollará el proyecto teniendo una base de circuito de agua establecida.

CAPÍTULO 4

4. REDISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

Este capítulo contará con la selección de tuberías para el transporte de flujo de agua en el sistema de enfriamiento de la planta.

4.1. Requerimiento de caudal y temperatura

Para el requerimiento del caudal y temperatura de las maquinas inyectoras, me he basado en las recomendaciones y parámetros de trabajo de los fabricantes y en la experiencia acumulada en la planta.

En la tabla 9, se puede ver los flujos de agua fría y las temperaturas recomendadas por los fabricantes de las máquinas.

TABLA 9.
REQUERIMIENTO DE CAUDAL Y TEMPERATURA EN MAQUINAS
INYECTORAS

ÍTEMS	MAQUINAS	CAUDAL	ΔT
		GPM	$^{\circ}F$
1	G-700A	16	5
2	HAYSSEN	3	5
3	IRMI-3000	16	5
4	MIR-675	16	5
5	SM-850	16	5
6	SM-1500	22	5
7	D-455A	10	5
8	G-900A	19	5
9	G-900B	19	5
10	D-205	3	5
11	D-455B	10	5
12	D-155A	3	5
13	D-205SV	3	5
14	D-155B	3	5
15	D-95	2	5
16	D-455C	10	5
17	D-355	8	5
18	HAITIAN-3200	8	5
19	G-900C	19	5
20	G-700B	16	5
TOTAL		222	5

Autor: Manuel Eras.

TABLA 10

REQUERIMIENTO DE CAUDAL Y TEMPERATURA EN MOLDES

FLUJO Y TEMPERATURA DE AGUA FRÍA EN MOLDES

ÍTEMS	PRODUCTOS FABRICADOS	CAUDAL	T. E	T.S	ΔT
		GPM	°F	°F	°F
1	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,38	50	60	10
2	POMOS	0,93	50	60	10
3	SILLAS	12,25	50	60	10
4	CAJA PLÁSTICA (PEPSI)	12,88	50	60	10
5	MESA CUADRADA	9,37	50	60	10
6	MESA REDONDA	13,27	50	60	10
7	SILLAS PEQUEÑAS	10,46	50	60	10
8	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,38	50	60	10
9	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,38	50	60	10
10	BANCO PEQUEÑO	3,20	50	60	10
11	SILLAS PEQUEÑAS	10,46	50	60	10
12	TAZONES	1,69	50	60	10
13	BANCO PEQUEÑO	4,58	50	60	10
14	TAZONES	1,69	50	60	10
15	TAPAS DE POMOS	0,81	50	60	10
16	SILLAS PEQUEÑAS	10,46	50	60	10
17	BALDES	7,14	50	60	10
18	BALDE BASURERO	9,65	50	60	10
19	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,38	50	60	10
20	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,38	50	60	10
TOTAL		190,83	50	60	10

Elaborado por Manuel Eras.

4.2. REDISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE ENFRIAMIENTO.

Una de las grandes mejoras en el sistema de enfriamiento dentro de la fábrica es rediseñar la red de distribución, que consta de la manera siguiente.

Desde el reservorio del fluido de agua fría succiona una bomba hacia el distribuidor principal “manifold”, del cual salen dos ramales; Nuestra planta requiere un caudal que de acuerdo a la diferencia de caudal en el sistema, requieren de la selección de nuevas tuberías y accesorios que cumplan con el caudal requerido, pérdidas de fricción y velocidades recomendadas. A continuación se realiza los pasos de la selección del diámetro de la tubería.

Las recomendaciones de diseño para tuberías se describen en el siguiente cuadro.

TABLA 11

RECOMENDACIONES DE DISEÑO PARA TUBERÍAS

Pérdidas por fricción	h_f mayor a 0.00787 y menor a 0.045
Velocidad del agua	$V > 0.60$ m/s $V < 5$ m/s
Caídas de presión x fricción	452.41 Pa x cada metro de longitud

Autor: Manuel Eras.

Se tomará en cuenta que para la resistencia al flujo debido al rozamiento del agua, y de los accesorios en las paredes de las tuberías, se va a utilizar el parámetro de la longitud equivalente, donde varía de igual manera que un tubo recto. En base a los datos dados se procederá al rediseño de la red de distribución de enfriamiento.

Selección del diámetro de la tubería y de la bomba

Se considera la demanda de caudal total requerido por máquina inyectoras y moldes.

Datos para el cálculo:

$$Q_t = 412 \text{ GPM} = 0.02599 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Temperatura Agua} = 30^\circ\text{C}$$

$$\text{Densidad agua} = 995.7 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 0.000798 \text{ Kg/m-s}$$

Las Propiedades físicas del agua, a diferentes temperaturas han sido tomadas del apéndice A.

Para la selección del diámetro de la tubería utilizaremos la tabla para perdidas por fricción en tuberías plástica de PVC (apéndice B), y se buscará de acuerdo al caudal, la pérdida por fricción que no sobrepase el máximo permitido de 0.045 m de agua por cada metro

de longitud de tubería, y luego escogemos el diámetro de la tubería que cumpla con lo recomendado.

Para el tramo principal la selección del diámetro es de 6" (152.4 mm), la cual nos da pérdidas cercanas al máximo recomendable para el caudal requerido, y que nos servirá para el enfriamiento de moldes y de máquinas. A continuación se calcula el área por donde circula el agua, para lo cual necesitamos del diámetro interno de la tubería plástica, este diámetro es el mismo que se utiliza para tuberías de acero con cedula 40, por lo tanto el diámetro interno para la tubería plástica se puede obtener de la tabla que está en el apéndice C, las tuberías plásticas se las denomina lisas y la rugosidad relativa es cero. El diámetro interno es 6.065" (154.05 mm).

$$A = \pi D_i^2 / 4$$

$$A = \pi (0.1540)^2 / 4 = 0.0186 \text{ m}^2$$

La siguiente ecuación presenta la velocidad del agua para el diámetro de la tubería (152.4 mm).

$$V = Q/A$$

$$V = \frac{0.0259 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.0186 \text{ m}^2} = 1.39 \text{ m/s}$$

A continuación se calcula el número de Reynolds.

$$Re = \rho V D_i / \mu$$

$$Re = 995.7(1.39)(0.154)/0.000798 = 267092.15$$

Como el número de Reynolds es mayor a 4000 entonces nos encontramos con un flujo turbulento.

Para proceder a calcular el factor de fricción necesitamos del número de Reynolds y de la rugosidad relativa. Para nuestro caso por tratarse de tubería plástica, donde las paredes son completamente lisas, la rugosidad relativa (e/D) es cero. Rugosidad relativa para diferentes materiales, se puede ver en el apéndice D.

El factor de fricción se determina del diagrama de Moody del apéndice E con el número de Reynolds y la rugosidad relativa.

$$f = 0.0143$$

A continuación se procede a determinar la longitud total de la tubería a lo largo del sistema, donde se incluyen las longitudes equivalentes por los accesorios y válvulas, que serán determinados de acuerdo al diámetro escogido y del accesorio que se requiere de la tabla de las pérdidas por accesorios de tuberías del apéndice F.

Para el primer ramal, con el factor de fricción conocido y la longitud total equivalente 27.13 m se procede a calcular la pérdida de fricción por tubería de acuerdo a la ecuación siguiente.

$$hf = f \cdot (L \cdot Total * V^2 / 2 * g * Di)$$

$$hf = 0.0143 \cdot (27.13 * (1.39)^2 / 2 * 9.8 * 0.154) = 0.249 \text{ m}$$

También se calcula la caída de presión por fricción en cada ramal.

$$\Delta P = \rho * g * hf$$

Para el primer ramal $\Delta P = (995.7) (9.8) * 0.249 = 2429.7$

En las siguientes tablas 4.4 y 4.5 se presenta los resultados de los cálculos realizados en los tramos a lo largo de la tubería.

TABLA 13
RESULTADO TOTAL POR RAMAL

Tramo de tubería	Caudal		Longitud m	Øi m	L. Total m	Área m ²
	GPM	m ³ /s				
Bomba -Punto 1	412	0,025	7,78	0,154	27,13	0,0186
Punto 3 - Punto 4	32,4	0,0020	6	0,053	7,21	0,0021
Punto 3 - G700B	32,4	0,0020	8,8	0,053	10,01	0,0021
Punto 4 - G700A	32,4	0,0020	8,8	0,053	10,47	0,0021
Punto 2 - Punto 3	64,76	0,0040	7,1	0,063	7,53	0,0030
Punto 5 - Punto 6	347,24	0,0219	8,6	0,078	8,60	0,0047
Punto 6 -Punto 7	81,16	0,0051	35,2	0,063	37,18	0,0030
Punto 7 -Punto 8	45,89	0,0028	5	0,053	6,21	0,0021
Punto 8 -SM850	25,37	0,0016	5	0,041	7,22	0,0013
Punto 7 -SM1500	35,27	0,0022	1,4	0,053	2,61	0,0021
Punto 8 -D455A	20,52	0,0012	8	0,041	10,22	0,0013
Punto 6 - Punto 9	266,08	0,016	6	0,102	7,82	0,0082
Punto 9 - Hayssen	3,934	0,00024	12,3	0,027	12,90	0,00056
Punto 9 - Punto 10	262,14	0,0165	16	0,102	16,00	0,0082
Punto 10 - IRMI3000	28,25	0,0017	2	0,053	3,21	0,0021
Punto 10 -Punto 11	233,89	0,014	2	0,102	3,82	0,0082

Punto 11 -MIR675	28,88	0,0018	2,8	0,053	7,35	0,0021
Punto 11 -Punto 12	205,01	0,0129	23,2	0,102	32,34	0,0082
Punto 12 - G900A	35,38	0,0022	8,3	0,053	9,51	0,0021
Punto 12 - Punto 13	169,63	0,0107	4,3	0,102	6,12	0,0082
Punto 13 - G900B	35,38	0,0022	8,3	0,053	9,51	0,0021
Punto 13 - Punto 14	134,25	0,0084	4,3	0,078	5,82	0,0047
Punto 14 - D205	6,2	0,00039	4,3	0,026	4,91	0,00053
Punto 14 - Punto 15	128,05	0,0080	4,3	0,078	5,82	0,0047
Punto 15 - D455B	20,46	0,0012	4,7	0,041	5,61	0,0013
Punto 15 - Punto 16	107,59	0,0067	4,3	0,078	5,82	0,0047
Punto 16 - D155A	12,27	0,00077	4,2	0,035	5,11	0,00096
Punto 16 - D205 SV	12,27	0,00077	9,7	0,035	10,85	0,00096
Punto 16 - Punto 17	95,32	0,00601	4,3	0,078	5,82	0,0047
Punto 17 - D155B	7,504	0,00047	4,2	0,035	5,11	0,00096
Punto 17 - D95	7,504	0,00047	9,1	0,035	10,25	0,00096
Punto 17 -Punto 18	87,81	0,0055	4,3	0,078	5,82	0,0047
Punto 18 -D455C	20,46	0,0012	4,6	0,041	5,51	0,0013
Punto 18 -Punto 19	67,35	0,00424	4,3	0,063	5,82	0,0030
Punto 19 -D355	15,14	0,00095	4,4	0,035	5,31	0,00096
Punto 19 -Punto 20	52,21	0,0032	4,3	0,063	5,82	0,0030
Punto 20 -D3200	17,65	0,0011	4,2	0,041	5,11	0,0013
Punto 20 -Punto 21	34,56	0,0021	4,3	0,053	5,51	0,0021
Punto 21 -G900C	35,38	0,0022	7,5	0,053	9,17	0,0021

Elaborado por Manuel Eras

Continuación Tabla 13. Resultado total por ramal

Tramo de tubería	Velocidad	Reynolds	e/D	f	Perdidas	Caída de
	m/s				por fricción(m)	presión (Pa)
Bomba -Punto 1	1,39	267322,19	0	0,014	0,249	2427,04
Punto 3 - Punto 4	0,94	61883,88	0	0,019	0,119	1159,35
Punto 3 - G700B	0,94	61883,88	0	0,019	0,165	1609,58
Punto 4 - G700A	0,94	61883,88	0	0,020	0,182	1772,15
Punto 2 - Punto 3	1,32	103582,59	0	0,017	0,183	1780,87
Punto 5 - Punto 6	4,61	447425,24	0	0,013	1,558	15198,17

Punto 6 -Punto 7	1,66	129795,12	0	0,017	1,416	13814,01
Punto 7 -Punto 8	1,34	87648,65	0	0,018	0,189	1844,97
Punto 8 -SM850	1,23	62371,63	0	0,019	0,258	2514,04
Punto 7 -SM1500	1,03	67363,81	0	0,019	0,050	489,45
Punto 8 -D455A	0,99	50450,51	0	0,020	0,251	2449,51
Punto 6 - Punto 9	2,05	261129,39	0	0,014	0,234	2284,28
Punto 9 - Hayssen	0,45	14819,24	0	0,027	0,131	1275,53
Punto 9 - Punto 10	2,02	257241,22	0	0,015	0,471	4599,00
Punto 10 - IRMI3000	0,82	53951,60	0	0,020	0,041	402,64
Punto 10 -Punto 11	1,80	229557,47	0	0,015	0,091	886,46
Punto 11 - MIR675	0,84	55162,64	0	0,020	0,099	963,79
Punto 11 -Punto 12	1,58	201096,07	0	0,015	0,602	5876,69
Punto 12 - G900A	1,03	67515,19	0	0,019	0,183	1781,83
Punto 12 - Punto 13	1,31	166413,61	0	0,016	0,082	797,12
Punto 13 - G900B	1,03	67515,19	0	0,019	0,183	1781,83
Punto 13 - Punto 14	1,78	172823,15	0	0,015	0,184	1799,09
Punto 14 - D205	0,74	23903,38	0	0,024	0,123	1199,24
Punto 14 - Punto 15	1,70	164865,53	0	0,016	0,172	1680,03
Punto 15 - D455B	0,99	50255,72	0	0,020	0,137	1335,18
Punto 15 - Punto 16	1,42	138340,14	0	0,016	0,126	1228,12
Punto 16 - D155A	0,80	34968,63	0	0,022	0,105	1026,09
Punto 16 - D205 SV	0,80	34968,63	0	0,022	0,223	2177,77
Punto 16 - Punto 17	1,26	122628,94	0	0,017	0,100	976,85
Punto 17 - D155B	0,49	21344,49	0	0,024	0,042	408,36
Punto 17 - D95	0,49	21344,49	0	0,024	0,084	818,80
Punto 17 -Punto 18	1,15	112222,82	0	0,017	0,085	832,97
Punto 18 -D455C	0,99	50255,72	0	0,020	0,134	1311,40
Punto 18 -Punto 19	1,37	107486,59	0	0,017	0,152	1483,96
Punto 19 -D355	0,99	43143,12	0	0,025	0,189	1844,28
Punto 19 -Punto	1,07	83403,51	0	0,018	0,097	946,03

20						
Punto 20 -D3200	0,84	42853,72	0	0,028	0,127	1238,12
Punto 20 -Punto 21	1,01	66001,40	0	0,012	0,067	652,43
Punto 21 -G900C	1,02	66606,92	0	0,012	0,113	1105,82
TOTAL					8,995	87772,84

Elaborado por Manuel Eras

Como se indicó en la tabla (4.3), la pérdida por fricción máxima en tuberías no debe sobrepasar los 0.045 metros por cada metro de longitud. Para nuestro sistema.

$$0.045\text{m}/1\text{m} * 278.18 \text{ m} = 12.52\text{m}$$

El total de las pérdidas por fricción en la distribución de agua del sistema es de 8.995m, con lo cual verificamos que $12.52\text{m} > 8.995\text{m}$, está dentro del rango permitido.

La caída de presión por fricción en las máquinas inyectoras es de 452.41Pa, por cada metro de longitud, en nuestro sistema tenemos lo siguiente.

$$452.41 \text{ Pa} /1 \text{ m} * 278.18\text{m} = 125851,4 \text{ Pa}$$

La caída de presión por fricción en la distribución de las máquinas inyectoras es de 87772,84 Pa. Entonces

$$125851,4 \text{ Pa} > 87772,84 \text{ Pa}$$

Determinación de la altura dinámica total

Altura dinámica total = Altura estática total + Pérdidas totales

Altura estática total = Hs (succión)+Hs (descarga) +hf totales

$$AET = 0.50 + 2.10 = 2.60$$

$$ADT = 2.60 + 9 = 11.60$$

Con el caudal considerado entre medio y alto, y determinada la altura dinámica total, se procede a seleccionar la bomba requerida de las curvas descritas en el apéndice G.

A continuación se describe las características de la bomba seleccionada.

Bomba centrífuga seleccionada de 7.5HP, de 3525 RPM, con una succión de 4" de diámetro y una descarga de 4" de diámetro, rotor de 8", perteneciente a la serie 80 estándar, marca Bell y Gossett, trifásica, 230 V.

Cálculo de carga de succión neta positiva

Esta carga nos indica las condiciones de la succión de la bomba, con el propósito de que no exista la cavitación dentro de la tubería, lo que provocaría daños en la bomba, y reducción de la eficiencia.

$$CANPd = \frac{P_{atm}}{\gamma} - H_{es} - \sum hf - \frac{P_v}{\gamma}$$

De la ecuación de las pérdidas determinaremos la sumatoria total de las pérdidas por fricción en la tubería de succión.

$$hf = f \cdot (L_{Total} \cdot V^2 / 2 \cdot g \cdot D_i)$$

V=3.15 m/s.

L=1.20

Di=102.26mm

TABLA 14

LONGITUD EQUIVALENTE EN LA SUCCIÓN

Válvulas y accesorios	L.e	Cantidad	L.e (total)
Codos 90° (Ø=4")	3,048	1	3,048
Válvula canastilla	7,62	1	7,62
Total			10,668

Elaborado por Manuel Eras

La longitud total será la longitud de la tubería más la longitud equivalente de los accesorios, el total es de 11.86 m

Se calcula el número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho \cdot V_s \cdot D_i}{\mu}$$

$$Re = \frac{(995.1) \cdot (3.15) \cdot (0.01022)}{0.000798} = 401679.97$$

$e/D = 0$, Para tuberías lisas (PVC)

El factor de fricción determinado del diagrama de Moody es 0.013

La pérdida por fricción en la tubería de succión es

$$h_f = 0.013 \cdot \left(11.86 \cdot 3.15^2 / 2 \cdot 9.8 \cdot 0.01022 \right) = 0.763$$

Los datos para determinar el CANPd son:

$P_{atm}/\gamma = 10.333 \text{ m H}_2\text{O}$

$H_{ss} = 0.50$

$h_f = 0.763$

$P_v/\gamma = 0.44 \text{ m de H}_2\text{O}$, Determinada de las propiedades físicas del agua a 30°C.

$$CANPd = \frac{P_{atm}}{\gamma} - H_{ss} - \sum h_f - \frac{P_v}{\gamma}$$

$$CANPd = 10.33 - 0.5 - 0.763 - 0.44 = 8.62 \text{ m}$$

CANPR = 6.2 De la gráfica de bombas.

Siempre se debe cumplir:

$$CANPd > CANPr$$

4.3. Dimensionamiento y selección de una unidad generadora de agua helada.

En las siguientes tablas 4.7 y 4.8 se resumen el caudal de agua de enfriamiento para la selección de la unidad generadora de agua helada.

TABLA 15
CAUDAL REQUERIDO POR MÁQUINA INYECTORAS

ÍTEMS	MÁQUINAS	CAUDAL	
		lt/min	GPM
1	G-700A	60	16
2	HAYSSEN	10	3
3	IRMI-3000	60	16
4	MIR-675	60	16
5	SM-850	60	16
6	SM-1500	80	22
7	D-455A	38	10
8	G-900A	70	19
9	G-900B	70	19
10	D-205	10	3
11	D-455B	38	10
12	D-155A	10	3
13	D-205SV	10	3
14	D-155B	10	3
15	D-95	8	2
16	D-455C	38	10
17	D-355	30	8
18	HAITIAN-3200	30	8
19	G-900C	70	19
20	G-700B	60	16
TOTAL		822	222

Elaborado por Manuel Eras

TABLA 16
CAUDAL REQUERIDO POR MOLDES

ÍTEMS	MOLDES	CAUDAL
		GPM
1	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,4
2	POMOS	0,9
3	SILLAS	12,3
4	CAJA PLÁSTICA (PEPSI)	12,9
5	MESA CUADRADA	9,4
6	MESA REDONDA	13,3
7	SILLAS PEQUEÑAS	10,5
8	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,4
9	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,4
10	BANCO PEQUEÑO	3,2
11	SILLAS PEQUEÑAS	10,5
12	TAZONES	1,7
13	BANCO PEQUEÑO	4,6
14	TAZONES	1,7
15	TAPAS DE POMOS	0,8
16	SILLAS PEQUEÑAS	10,5
17	BALDES	7,1
18	BALDE BASURERO	9,7
19	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,4
20	CAJA PLÁSTICA (CERVECERÍA)	16,4
TOTAL		191,1

Elaborado por Manuel Eras

El Total de de flujo agua de enfriamiento requerido en la planta es de 413.1 GPM.

Las Toneladas de refrigeración requerida por el sistema es de 125.81 TR.

Para el proceso se agrega un 20% de factor de seguridad de la carga térmica al proceso para futuros aumentos de la producción y máquinas inyectoras que se requiera.

$$125.81 * 20\% = 150.97 \text{ TR.}$$

Selección del equipo

Para el proceso del enfriamiento del plástico y de los intercambiadores de calor de las máquinas inyectoras se selecciona una unidad TRANE modelo RTAC200, el que cuenta con el requerimiento de capacidad y las características necesarias para el proceso requerido.

TABLA 17.

CARACTERÍSTICAS DEL CHILLER 200 TR

76B283 - IECU ORDERS 2014

August 08, 2014

Tag Data - Air-Cooled Helical Rotary Water Chillers (Qty: 1)

Item	Tag(s)	Qty	Description	Model Number
A1	RTAC-1	1	Air-Cooled Series R(TM) - RTAC	RTAC200

Product Data - Air-Cooled Helical Rotary Water Chillers

Item	A1
Tags	RTAC-1
Qty	1
Air cooled Series R(TM) model RTAC	X
No startup allowance	X
200 nominal tons	X
230v/60 hz/3 ph	X
Standard configuration	X
C/UL listing	X
ASHRAE 90.1 all versions compliant	X
AHRI certified	X
ASME	X
Standard 40-60F leaving, with evaporator heaters	X
2 pass arrangement, 0.75" insulation	X
Fluid type = water	X
Standard ambient temperature range	X
Aluminum slit fins	X
Condenser fans with TEAO motors	X
Wye-delta closed transition starter	X
Single point power connection	X
Terminals only	X
BACnet interface	X
10,000 amp SCWR	X
Factory installed flow switch - for use when evap fluid type = water	X
Refrigerant isolation valves	X
Elastomeric isolators	Fld

Tomado del Manual equipo

TABLA 18
DATOS DE RENDIMIENTO EQUIPO 200 TR

Performance Data - Air-Cooled Helical Rotary Water Chillers	
Tags	RTAC-1
Capacity (tons)	198.90
Compressor power (kW)	227.10
Unit power (kW)	245.20
Efficiency (EER)	9.70
IPLV (EER)	13.60
NPLV (EER)	13.60
Evap entering temp (F)	53.90
Evap flow rate (gpm)	480.00
Evap leaving temp (F)	44.00
Evap pressure drop (ft H ₂ O)	12.20
Evap fouling factor (hr-sq ft-deg F/Btu)	0.0001
Evap fluid concentration (%)	0.00
Evap fluid freeze point (F)	32.00
Min evap flow rate (gpm)	241.00
Press drop min evap flow (ft H ₂ O)	3.40
Max evap flow rate (gpm)	883.00
Press drop max evap flow (ft H ₂ O)	36.80
Saturated evap temp - ckt 1 (F)	40.10
Saturated evap temp - ckt 2 (F)	40.90
Ambient air temp (F)	95.00
Saturated cond temp - ckt 1 (F)	134.20
Saturated cond temp - ckt 2 (F)	134.70
Elevation (ft)	0.00

Tomado del manual del equipo

La temperatura ambiente promedio durante el día es de 32 °C, y el gradiente de temperatura es de 5°C.

4.4. SELECCIÓN DE LA BOMBA DE AGUA HELADA.

Para el sistema de bombeo se seleccionará una bomba centrífuga con un caudal de operación mayor al requerido 413.1 GPM. Del apéndice H y con el caudal requerido, se determina que la tubería es de diámetro nominal 154 mm (Ø6'').

La selección de tubería para el sistema de bombeo se determina de acuerdo a los requerimientos de las pérdidas por fricción máxima en tuberías de 0.045 m por cada metro de longitud.

En el siguiente cuadro se muestran las longitudes equivalentes por accesorios

TABLA 19
LONGITUD EQUIVALENTE POR ACCESORIOS

Válvulas y accesorios	Longitud Equivalente (m)	Cantidad	Longitud Equivalente Total
Válvula compuerta (Ø152mm)	1,066	2	2,132
Yee (Ø152mm)	6,096	3	18,288
Codos 90 (Ø=152mm)	4,57	6	27,42
Codos 45 (Ø=152mm)	2,16	3	6,48
Total			54,32

Elaborado Por Manuel Eras

La longitud total de la tubería incluyendo la longitud equivalente por accesorios es.

$$L \text{ Total} = 38.32 + 54.32 = 92.64 \text{ m}$$

TABLA 20
PÉRDIDAS TOTALES

Tramo de tubería	Caudal		Longitud	Øi	L. Total	Área
	GPM	m ³ /s	m	m	m	m ²
Bomba - Chiller	413,1	0,026	38,32	0,154	92,64	0,01862

Tramo de tubería	Velocidad	Reynolds	e/D	f	Perdidas	Caída
	m/s				por fricción(m)	Presión(Pa)
Bomba - Chiller	1,40	268354,32	0	0,014	0,856	8352,89

Elaborado Por Manuel Eras

$$0.045 \cdot 38.32 = 1.72 \text{ m}$$

$$1.72 \text{ m} > 0.856 \text{ m}$$

Esta dentro del rango permitido.

La altura dinámica total se determina de la altura estática sumada a las pérdidas por fricción.

$$ADT = (0.50 + 2.60) + 0.856 = 3.95 \text{ m}$$

Caudal: 413 GPM ($0.026 \text{ m}^3/\text{s}$)

Diámetro nominal de descarga: 6 Pulgadas (152 mm).

Debido a que el chiller seleccionado necesita de un flujo de 400GPM, este valor lo tomaremos como referencia para seleccionar la bomba.

La bomba centrífuga seleccionada es la siguiente.

Marca Bell&Gossett

Serie 1510

Modelo 4 AC

Velocidad: 1750 RPM

Ø succión: 4" (101 mm)

Ø descarga: 4" (101 mm)

Potencia: 15 hp

NPSH: 2.3 m,

Velocidad de succión: 3.16 m/s

Velocidad de descarga: 3.16 m/s

Eficiencia: 63%

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

$$h_f = f \cdot (L_{Total} \cdot V^2 / 2 \cdot g \cdot D_i)$$

$V_s = 3.16$

$L_e = 3.048$ (Codo 90° Ø4")

$L_{total} = 1.20 + 3.048 = 4.24$ m

$Re = 421744.8$

$e/D = 0$ (Para tuberías lisas)

$f = 0.0133$

$$h_f = 0.0133 \cdot (4.24 \cdot 3.16^2 / 2 \cdot 9.8 \cdot 0.1022) = 0.281 \text{ m}$$

La determinación del CANPd se realiza con los datos siguientes:

$P_{atm}/\gamma = 10.333$ m H₂O

$H_{ss} = 0.50$

$h_f = 0.281$ m

$$CANPd = \frac{P_{atm}}{\gamma} - H_{es} - \sum hf - \frac{P_v}{\gamma}$$

$$CANPd = 10.33 - 0.5 - 0.281 - 0.44 = 9.109 \text{ m}$$

CANPd (9.109 m) > CANPr (2.3 m), lo que significa que no habrá cavitación.

CAPÍTULO 5

5. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

5.1. Cronograma de Trabajo

La instalación y ejecución del sistema de enfriamiento, se lo dividió en tres fases de trabajo:

Fase #1: Construcción de la cisterna de agua helada para enfriamiento de máquinas y moldes de inyección y soplado.

Fase #2: Instalación del circuito de enfriamiento de la cisterna agua helada hacia la planta.

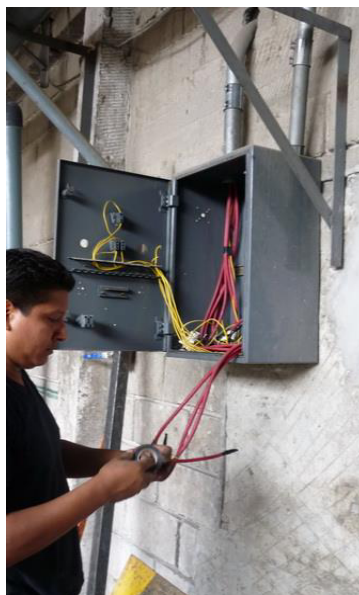
Fase #3, Instalación del circuito y de la unidad generadora de agua helada chiller 200 TR.

Para la fase #1, se determinó el área de construcción de la cisterna de agua helada, la cual se construyó cerca de la antigua cisterna.

Se levantaron paredes dentro de la cisterna, dividiéndola en dos partes iguales de tal forma que la mitad sea para almacenar agua fría y la otra mitad, el retorno de agua de las máquinas. Estos trabajos se los realizó con personal externo contratado por la fábrica.

En la fase #2, se realizó la instalación de tuberías y accesorios del circuito de agua helada a la planta, donde el grupo asignado se encargó de la preparación de los materiales, que consiste en cortar y unir tubos, confeccionar el roscado de los tubos en cada extremo, de acuerdo a las necesidades requeridas.

Todo esto de acuerdo a datos seleccionados en el capítulo 4, donde se calculó, y seleccionó el diámetro de las tuberías de acuerdo al caudal establecido y las pérdidas calculadas por tramos y tuberías principales. Primeramente la tubería principal a partir de la bomba seleccionada, una vez que se realizó la instalación eléctrica de las bombas (principal y auxiliar). Tal como se puede ver en la figura 5.1.



Elaborado por: Manuel Eras

FIGURA 5.1 INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BOMBAS DEL CIRCUITO AGUA HELADA

Por último, la fase #3 se desarrolló en dos etapas, instalación del nuevo circuito de agua helada hacia chiller, y montaje e instalación del chiller, donde se determinó diámetro de tuberías y dimensionamiento de bomba. En esta fase se contrató los servicios de la empresa DIPROINSA, encargada de realizar la instalación del circuito agua helada, como así también se contrató los servicios de la empresa TELMEFAST, encargada de realizar la instalación eléctrica del nuevo chiller de 200TR.

Para la instalación y ejecución del sistema de agua de enfriamiento se determinó los tres grupos de trabajo en un periodo, comprendido

de 8 horas diarias de lunes a sábado. Trabajos realizados durante los días festivos y fines de semana, y se aprovechó la parada anual de mantenimiento de 20 días, con lo cual se pudo terminar el trabajo, sin interrumpir el programa diario de producción. Trabajos realizados Bajo la supervisión y dirección técnica del personal técnico de la fábrica.

5.2. MATERIALES REQUERIDOS.

En la tabla siguiente se listan los materiales y herramientas básicas usadas en la instalación del sistema de enfriamiento.

TABLA 21
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

ÍTEMS	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS		CONDICIÓN
	EQUIPO	ESPECIFICACIÓN	
1	Maquina soldadora	Eléctrica	Bodega de repuestos
2	Equipo de oxicorte	Acetileno-Oxígeno	Bodega de repuestos
3	Material aporte	E60.11- E70.18	Bodega de repuestos
4	Extintores	Polvo químico seco	Bodega de repuestos
5	Tarraja para tubo	Ø 2"	Bodega de repuestos
6	Fluxómetro	5 m	Bodega de repuestos
7	Guantes de cuero	Resistencia al corte	Bodega de repuestos
8	Llave para tubo	Largo 6-12-24"	Bodega de repuestos
9	Prensa para tubo	De tornillo, para 6"	Bodega de repuestos
10	Arco para sierra	estándar 12"	Bodega de repuestos
11	Hoja de sierra	12x1/2x 1/32 "	Bodega de repuestos
12	Llave francesa	12-18 "	Bodega de repuestos
13	Desarmador plano	4-6 mm x 150 mm	Bodega de repuestos
14	desarmador estrella	4-6 mm x 150 mm	Bodega de repuestos

Elaborado por: Manuel Eras.

5.3. Costos de Instalación

El costo de la instalación del nuevo sistema de enfriamiento se lo ha dividido por fases de trabajo, en los cuales está inmerso los materiales requeridos, costos de equipos a instalar y costos de la mano de obra.

COSTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE CISTERNA PARA AGUA FRÍA DE MAQUINAS Y MOLDES

TABLA 22.

COSTOS DE CONSTRUCCIÓN NUEVA CISTERNA

DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
VARILLA CORRUGADA 10 MM X 12 M	52	7,29	379,08
VARILLA CORRUGADA 8 MM X 12 M	20	4,67	93,4
SACOS DE CEMENTO HOLCIM 50 KGS	60	6,38	382,8
FUNDAS DE PIEDRA DE 3/4"	48	1,34	64,32
FUNDAS DE ARENA	36	0,75	27
TABLAS SEMI DURAS	45	2,95	132,75
CUARTÓN SEMI DURO	35	2,01	70,35
BLOQUES VICTORIA	30	0,31	9,3
LIBRAS DE ALAMBRE #18	30	1,07	32,1
SIERRA SANDFLEX	3	2,2	6,6
SIKA IMPERMEABILIZANTE	1	13,3	13,3
SIKA ACELERANTE	1	13,3	13,3
SERVICIO DE LOGÍSTICA	1	35	35
VALOR DE MANO DE OBRA	1	6500	6500
SUBTOTAL (\$)			7759,30
12% IVA			931,116
TOTAL (\$)			8690,42

Elaborado por: Manuel Eras

COSTO DE MATERIALES PARA INSTALACIÓN DE RED DE CIRCUITO DE AGUA DE ENTRADA Y SALIDA PARA MAQUINAS Y MOLDES

TABLA 23

COSTO DE MATERIALES PARA CIRCUITO AGUA DE ENTRADA Y SALIDA EN MÁQUINAS Y MOLDES DE INYECCIÓN

DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
BOMBA CENTRIFUGA MARCA CORVEX 420 GPM	1	3720	3720
VÁLVULA CHECK DE 4" TW	4	160	640
VÁLVULA DE GATILLO PVC 160 MM	2	342	684
TUBOS PVC 160 MM X 6 M E/C (120 PSI)	4	96,94	387,76
TUBOS PVC 110 MM X 6 M E/C (120 PSI)	21	41,7	875,7
TUBOS PVC 75 MM X 6 M E/C (120 PSI)	4	30,25	121
TUBOS PVC 63 MM X 6 M E/C (120 PSI)	8	20,4	163,2
TUBOS PVC 60 MM X 6 M E/C (120 PSI)	12	16,25	195
YEE 110 MM	4	20,25	81
UNIONES DE 160 MM	4	3,8	15,2
UNIONES DE 110 MM	12	2,3	27,6
UNIONES DE 75 MM	4	1,8	7,2
UNIONES DE 63 MM	6	1,4	8,4
UNIONES DE 60 MM	8	1,05	8,4
VÁLVULAS DE BOLA DE 110 MM PVC	10	73,41	734,1
BRIDA DE PVC DE 110 MM	1	15	15
BRIDA DE PVC DE 160 MM	1	26,27	26,27
CODOS DE 110 MM X 45°	6	5,57	33,42
CODOS DE 110 MM X 90°	26	9,6	249,6
CODOS DE 75 MM X 90°	10	6,5	65
CODOS DE 160 MM X 90°	4	6,25	25
CODOS DE 63 MM X 90°	4	5,1	20,4
CODOS DE 60 MM X 90°	8	3,56	28,48

KALIPEGA EN LITROS	4	13,14	52,56
REDUCTOR DE 110 MM X 2"	4	7	28
CODO REDUCTOR 110 MM X 90 MM	2	14	28
CONECTORES DE PVC PARA MANGUERA DE 2"	10	3,8	38
CODOS DE PVC 90 MM X 45°	1	4,85	4,85
YEE DE PVC ROSCABLE DE 2"	4	18	72
BRIDA DE PVC DE 110 MM	1	14,8	14,8
BRIDA DE PVC DE 160 MM	1	28,27	28,27
REDUCTOR DE 160 X 110 MM	1	18	18
SUBTOTAL(\$)			8416,21
12% IVA			1009,9452
TOTAL(\$)			9426,1552

Elaborado por: Manuel Eras

COSTO DE MATERIALES CIRCUITO DE ENTRADA Y SALIDA DE AGUA PARA ENFRIADOR 200 TR

TABLA 24

COSTO DE MATERIALES PARA CIRCUITO AGUA DE ENTRADA Y SALIDA PARA ENFRIADOR 200 TR

DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
BRIDA DE PVC DE 75 MM E/C	2	7,75	15,5
BRIDA DE PVC DE 90 MM E/C	2	14,48	28,96
REDUCTOR DE 110 MM X 90 MM E/C	2	4,36	8,72
REDUCTOR DE 110 MM X 75 MM E/C	2	6,41	12,82
REDUCTOR DE 160 MM X 110 MM E/C	2	15	30
TUBO DE 160 MM X 6 MM E/C	14	96,94	1357,2
CODOS DE 160 MM X 90°	15	41	615
CODOS DE 160 MM X 45°	7	36,6	256,2

REDUCTOR DE 160 MM X 110 MM E/C	7	15,8	110,6
VÁLVULA DE GATILLO PVC 160 MM	2	342,22	684,44
UNIONES DE 110 MM C/C	4	2,57	10,28
CODOS DE 110 MM X 90°	6	11,13	66,78
CODOS DE 110 MM X 45°	4	7,83	31,32
BRIDAS PVC 160 MM	2	44	88
MANÓMETRO CON GLICERINA 10 BAR	6	20,48	122,88
GALÓN DE POLILIMPIA	1	27,68	27,68
KALIPEGA 3785 C.C	1	47,18	47,18
VÁLVULAS DE BOLA PVC PRESIÓN 160 MM	4	94,55	378,2
ÁNGULOS DE HIERRO DE 1 1/2" X 1/4"	6	30,6	183,6
PERNOS GALVANIZADOS DE 3/8"X1 1/4"	48	0,4	19,2
PERNOS HITY 3/8" X 3"	50	0,6	30
PLATINAS DE HIERRO NEGRO 1"X1/8"	2	5,1	10,2
YEE RFV 160 MM	7	75	525
VALOR DE MANO DE OBRA	1	2000	2000
SUBTOTAL (\$)			6659,7
IVA 12%			799,17
TOTAL (\$)			7458,9

Elaborado por: Manuel Eras

COSTO EQUIPOS

ENFRIADOR Y BOMBAS

El montaje del equipo enfriador lo realizó el personal técnico de la empresa.,
por tal razón no se incluye en el rubro en el cuadro de costos.

TABLA 25
COSTO EQUIPO ENFRIAMIENTO Y BOMBAS

DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
CHILLER MARCA TRANE 200TR	1	98000	98000
BOMBAS CENTRIFUGAS	2	3650	7300
TRANSPORTE EQUIPOS	1	2500	2100
MONTAJE EQUIPO ENFRIADOR	1	600	600
SUBTOTAL (\$)			108000
IVA 12%			12960
TOTAL (\$)			120960

Elaborado por Manuel Eras

COSTOS MATERIALES
INSTALACIÓN ELÉCTRICA ENFRIADOR 200TR

TABLA 26
COSTO MATERIALES ELÉCTRICOS EQUIPO ENFRIAMIENTO 200TR

DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO
			TOTAL
AMARRAS PLÁSTICAS DE 55 CM	800	0,18	144
ALATADOR DE BARRA DE 70 MM	2	2,12	4,24
BREAKER DE 800 AMP	1	1031	1031
CABLE SUPERFLEX 2AWG	50	4,15	207,5
CODO T/ESCALERA 20X10 S/TAPA (V)	4	14	56
CODO T/ESCALERA 20X10 S/TAPA (H)	2	11,5	23
CAJA METÁLICA DOBLE FONDO	1	320	320
120 X 100 X 30 CM			
ELECTROCANAL TIPO ESCALERA	3	33,5	100,5
20 X 10 CM C/TAPA 2,4 M			
ELECTROCANAL TIPO ESCALERA	16	23	368
20 X 10 CM S/TAPA 2,4 M			
MÉNSULA P/CANAL 30 CM	18	5,7	102,6

JUEGO DE TERMINALES MG 33640	2	130,57	261,14
CINTA AISLANTE (ROLLOS)	10	0,99	9,9
CINTA AUTO FUNDENTE #23 (ROLLOS)	5	14,83	74,15
TUERCAS GALVANIZADAS DE 1/2"	48	0,1	4,8
ANILLOS PLANOS DE 1/2"	48	0,05	2,4
VARILLAS ROSCADAS DE 1/2" X 2 M	9	4,8	43,2
MANO DE OBRA	1	2900	2900
SUBTOTAL (\$)			5652,43
IVA 12%			678,2916
TOTAL			6330,722

Elaborado por Manuel Eras

TABLA 27

COSTO TOTAL DE LA OBRA

DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	CANTIDAD	COSTO TOTAL
CONSTRUCCIÓN DE CISTERNA AGUA ENFRIAMIENTO MAQUINAS Y MOLDES	1	8690,42
CIRCUITO DE AGUA ENTRADA Y SALIDA MAQUINAS Y MOLDES	1	9426,15
CIRCUITO AGUA ENTRADA Y SALIDA ENFRIADOR 200 TR	1	7458,9
EQUIPO ENFRIADOR Y BOMBAS	1	120960
INSTALACIÓN ELÉCTRICA ENFRIADOR	1	6330,72
TOTAL(\$)		152866,19

Elaborado por Manuel Eras

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

1. La instalación del nuevo sistema de enfriamiento reducen las caídas de presión en un 6%
2. Se aumenta el flujo de agua en un 10 %.
3. El rediseño del sistema nos permite disminuir la temperatura del enfriamiento de los moldes de 10oC a 6°C, y la temperatura del aceite de las máquinas en un gradiente de 5°C.
4. Con el rediseño del sistema, se pueden trabajar los dos circuitos de enfriamiento (máquinas y moldes), con un solo equipo generador de agua helada, sin la necesidad de requerir la torre de enfriamiento, la cual puede quedar como equipo emergente.

6.2. Recomendaciones

1. La recomendación para la empresa en la que se desarrolló el proyecto es verificar caudales y la capacidad de enfriamiento requerido, con estos puntos se puede alcanzar y obtener la proyección de crecimiento de producción de la planta.
2. Se recomienda trabajar en días feriados con el chiller de menor capacidad de enfriamiento(110 TR), debido a las pocas máquinas que están programadas para trabajar esos días, y dejar en estado pasivo el nuevo chiller de 200 TR, con lo cual también se ahorraría el consumo de energía de la planta.
3. Establecer programas de mantenimiento preventivo para los chillers, y se pueda alternar con el mantenimiento de la torre de enfriamiento, con esto se logrará tener siempre operativos los equipos de enfriamiento.
4. Se recomienda realizar inspecciones continuas a la red de tuberías de enfriamiento de la planta y de los chillers, para prevenir cualquier novedad que se presente en el sistema, y evitar paradas prolongadas por daños en tuberías.

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

1. GUSTAVO PINO AVEGNO, “Reingeniería del sistema de agua de enfriamiento de una planta de producción de conductores eléctricos” (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2003).
2. DANIEL BENAVIDES, “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).
3. <http://www.monografias.com/trabajos58/tratamiento-aguas-enfriamiento/tratamiento-aguas-enfriamiento2.shtml#ixzz3DXXZHkHu>
4. MUNSON BRUCE R. Y YOUNG DONALD F, Fundamentos de Mecánica de Fluidos, Primera Edición, Editorial Limusa S.A. de C.V., 1999.
5. <http://www.ingenieriarural.com>
6. www.vaxasoftware.com
7. BELL&GOSSETT, Curvas de selección de bombas centrifugas (Serie 80 y 1510).

8. Grupo IMECPLAST, Moldes y Sistemas de colada caliente.
9. Grupo AIMPLAST, Instituto Tecnológico del plástico
10. Tecnituberias.com

APÉNDICE A

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A DIFERENTES TEMPERATURAS

1. Propiedades del agua

Sistema internacional de unidades (101 kPa (abs))

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

APÉNDICE B

PERDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS PLÁSTICAS

TUBERÍA DE PLÁSTICO: PÉRDIDA POR FRICCIÓN (EN PIES DE CARGA) POR CADA 100 PIES

GPM	GPH	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	6"	8"	10"
		pies	pies	pies	pies	pies	pies	pies	pies	pies	pies	pies	pies	pies
1	60	4.25	1.38	.356	.11									
2	120	15.13	4.83	1.21	.38	.10								
3	180	31.97	9.96	2.51	.77	.21	.10							
4	240	54.97	17.07	4.21	1.30	.35	.16							
5	300	84.41	25.76	6.33	1.92	.51	.24							
6	360		36.34	8.83	2.69	.71	.33	.10						
8	480		63.71	15.18	4.58	1.19	.55	.17						
10	600		97.52	25.98	6.88	1.78	.83	.25	.11					
15	900			49.68	14.63	3.75	1.74	.52	.22					
20	1,200			86.94	25.07	6.39	2.94	.86	.36	.13				
25	1,500				38.41	9.71	4.44	1.29	.54	.19				
30	1,800					13.62	6.26	1.81	.75	.26				
35	2,100					18.17	8.37	2.42	1.00	.35	.09			
40	2,400					23.55	10.70	3.11	1.28	.44	.12			
45	2,700					29.44	13.46	3.84	1.54	.55	.15			
50	3,000						16.45	4.67	1.93	.66	.17			
60	3,600						23.48	6.60	2.71	.93	.25			
70	4,200							8.83	3.66	1.24	.33			
80	4,800							11.43	4.67	1.58	.41			
90	5,400							14.26	5.82	1.98	.52			
100	6,000								7.11	2.42	.63	.08		
125	7,500								10.83	3.80	.95	.13		
150	9,000									5.15	1.33	.18		
175	10,500									6.90	1.78	.23		
200	12,000									8.90	2.27	.30		
250	15,000										3.36	.45	.12	
300	18,000										4.85	.63	.17	
350	21,000										6.53	.84	.22	
400	24,000											1.08	.28	
500	30,000											1.66	.42	.14
550	33,000											1.98	.50	.16
600	36,000											2.35	.59	.19
700	42,000												.79	.26
800	48,000												1.02	.33
900	54,000												1.27	.41
950	57,000													.46
1000	60,000													.50

APÉNDICE C

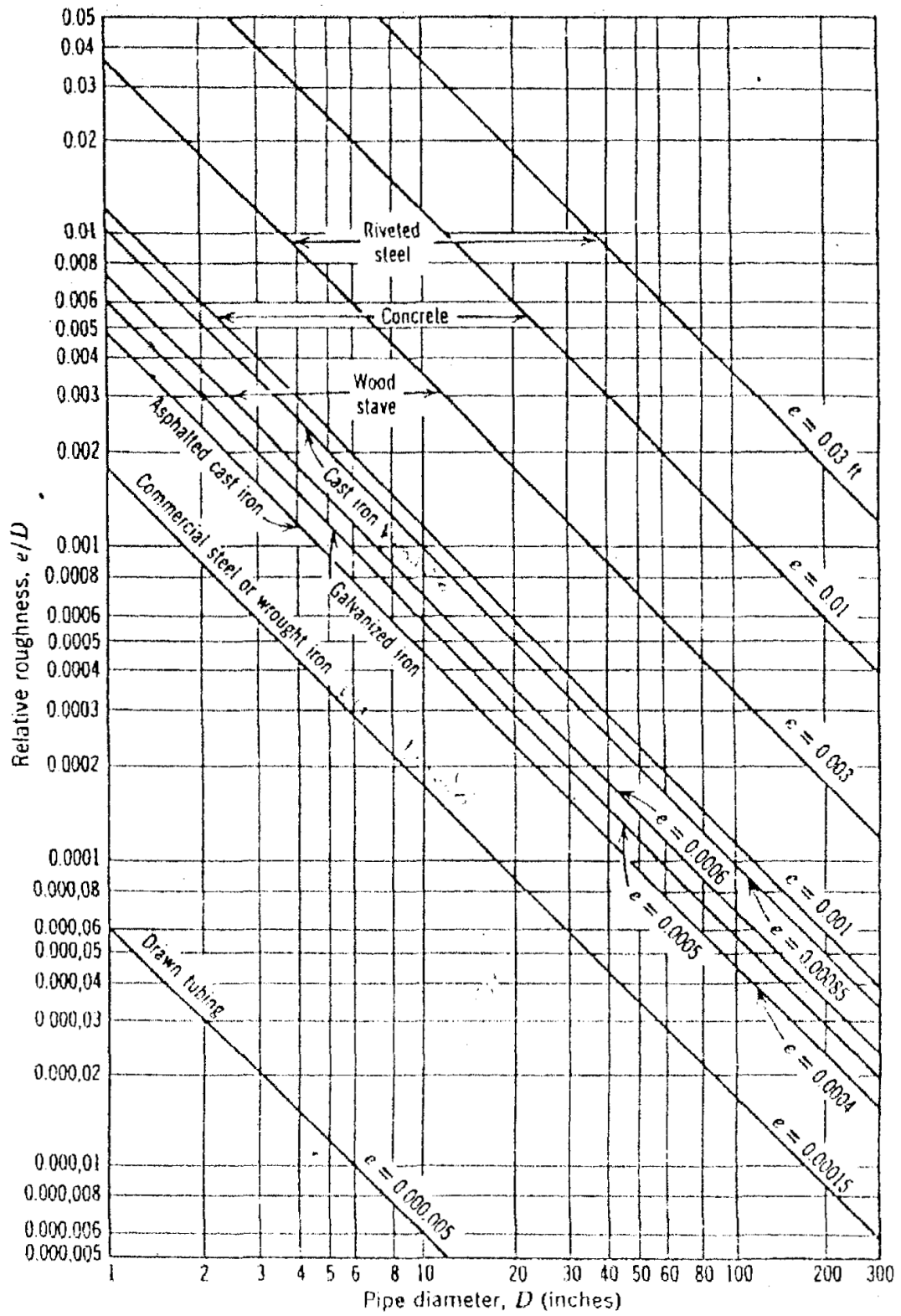
DIÁMETRO INTERNO EN TUBERÍAS

Table 4 Dimensions and Properties of Steel Pipe

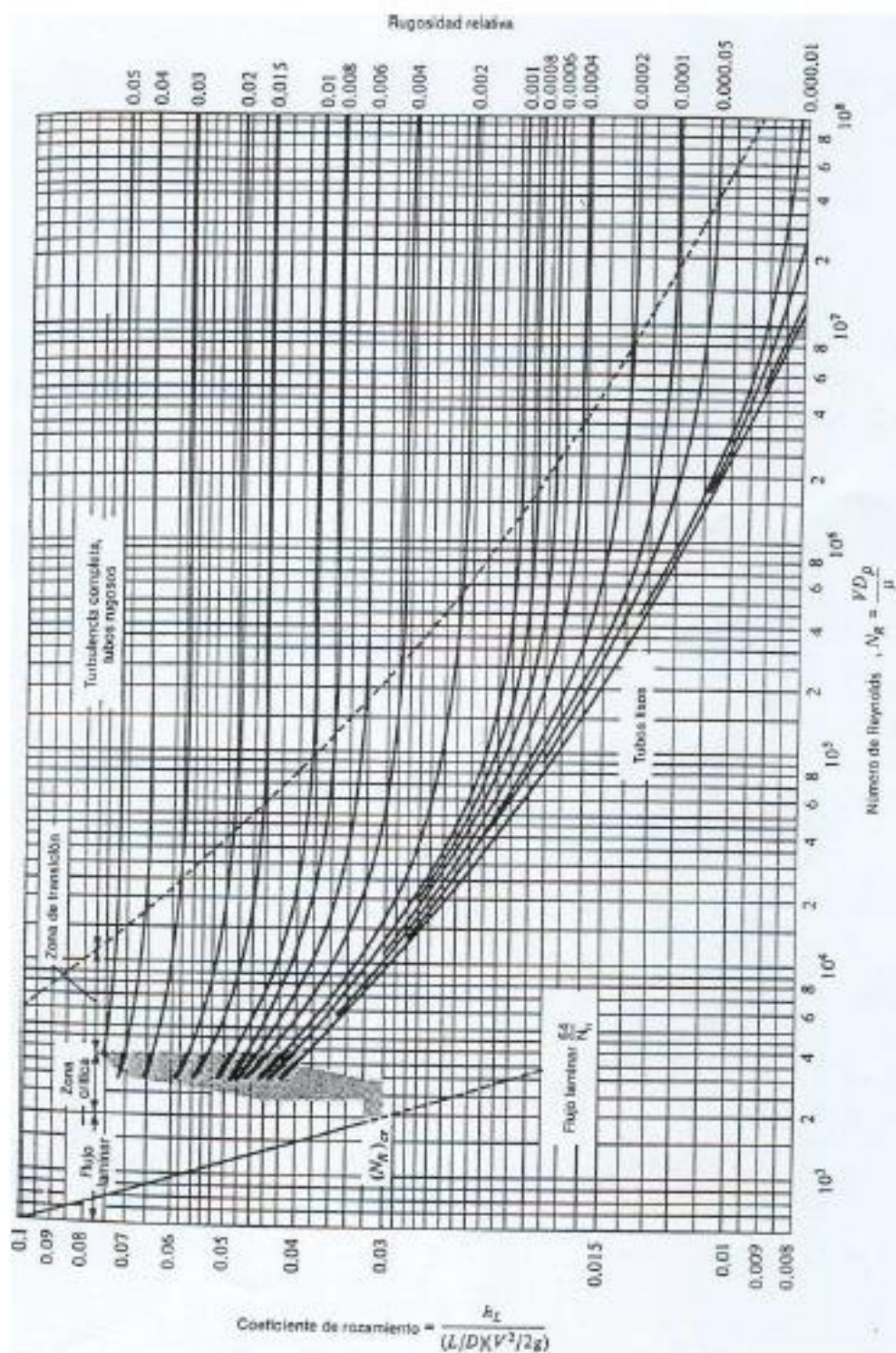
Nominal Size, in. ($\times 25.4 = \text{mm}$)	ASTM ^b Schedule	Diameter, in. ($\times 25.4 = \text{mm}$)		Wall Thickness, in. ($\times 25.4 = \text{mm}$)	Surface Area, $\text{ft}^2 / \text{lin. ft}$ ($\times 0.3048 = \text{m}^2 / \text{lin. m}$)		Seding Area, in.^2 ($\times 645 = \text{mm}^2$)		Area of Metal, in.^2 ($\times 645 = \text{mm}^2$)	Volume, gal./lin. ft ($\times 12.43 =$ $\text{ft}^3/\text{lin. m}$)	Weight, ^c lb./lin. ft ($\times 1.49 =$ kg./lin. m)	Working Pressure, psi ($\times 6.89 = \text{kPa}$)
		OD	ID		OD	ID	OD	ID				
1/8	40 (s)	0.405	0.269	0.068	0.106	0.0704	0.129	0.0568	0.0720	0.00295	0.244	314 ^{d(1)}
	80(x)	0.405	0.215	0.095	0.106	0.0563	0.129	0.0363	0.0925	0.00189	0.314	1084
1/4	40 (s)	0.540	0.364	0.088	0.141	0.0953	0.229	0.104	0.125	0.00541	0.424	649
	80 (x)	0.540	0.302	0.119	0.141	0.0791	0.229	0.0716	0.157	0.00372	0.535	1353
3/8	40 (s)	0.675	0.493	0.091	0.177	0.129	0.358	0.191	0.167	0.00992	0.567	574
	80 (x)	0.675	0.423	0.126	0.177	0.111	0.358	0.140	0.217	0.00730	0.738	1191
1/2	40 (s)	0.840	0.622	0.109	0.220	0.163	0.554	0.304	0.250	0.0158	0.850	697
	80 (x)	0.840	0.546	0.147	0.220	0.143	0.554	0.234	0.320	0.0122	1.09	1266
	XX	0.840	0.252	0.294	0.220	0.0660	0.554	0.0499	0.504	0.00259	1.71	3824
3/4	40 (s)	1.050	0.824	0.113	0.275	0.216	0.886	0.533	0.333	0.0277	1.13	604
	80 (x)	1.050	0.742	0.154	0.275	0.194	0.866	0.432	0.434	0.0225	1.47	1078
	XX	1.050	0.434	0.308	0.275	0.114	0.866	0.148	0.718	0.00768	2.44	3134
1	40 (s)	1.315	1.049	0.133	0.344	0.275	1.36	0.864	0.494	0.0449	1.68	651
	80 (x)	1.315	0.957	0.179	0.344	0.251	1.36	0.719	0.639	0.0374	2.17	1083
	XX	1.315	0.599	0.358	0.344	0.157	1.36	0.282	1.08	0.0146	3.66	2963
1 1/4	40 (s)	1.660	1.380	0.140	0.435	0.361	2.16	1.50	0.669	0.0777	2.27	440
	80 (x)	1.660	1.278	0.191	0.435	0.335	2.16	1.28	0.881	0.0666	3.00	805
	XX	1.660	0.896	0.382	0.435	0.235	2.16	0.630	1.53	0.0328	5.21	2318
1 1/2	40 (s)	1.900	1.610	0.145	0.497	0.421	2.84	2.04	0.800	0.1058	2.72	417
	80 (x)	1.900	1.500	0.200	0.497	0.393	2.84	1.77	1.07	0.0918	3.65	756
	XX	1.900	1.100	0.400	0.497	0.288	2.84	0.950	1.89	0.0494	6.41	2122
2	40 (s)	2.375	2.067	0.154	0.622	0.541	4.43	3.36	1.07	0.174	3.65	376
	80 (x)	2.375	1.939	0.218	0.622	0.508	4.43	2.95	1.48	0.151	5.02	690
	XX	2.375	1.503	0.436	0.622	0.393	4.43	1.77	2.66	0.0922	9.03	1861
2 1/2	40 (s)	2.875	2.469	0.203	0.753	0.646	6.49	4.79	1.70	0.249	5.79	505
	80 (x)	2.875	2.323	0.276	0.753	0.608	6.49	4.24	2.25	0.220	7.66	806
	XX	2.875	1.771	0.552	0.753	0.364	6.49	2.46	4.03	0.128	13.7	2048
3	40 (s)	3.500	3.068	0.216	0.916	0.803	9.62	7.39	2.23	0.384	7.57	454
	80 (x)	3.500	2.900	0.300	0.916	0.759	9.62	6.61	3.02	0.343	10.3	734
	XX	3.500	2.300	0.600	0.916	0.602	9.62	4.15	5.47	0.216	18.5	1829
3 1/2	40 (s)	4.000	3.548	0.226	1.05	0.929	12.6	9.89	2.68	0.514	9.11	425
	80 (x)	4.000	3.364	0.318	1.05	0.881	12.6	8.89	3.68	0.462	12.5	692
	XX ^a	4.000	2.728	0.636	1.05	0.714	12.6	5.85	6.72	0.304	22.9	1699
4	40 (s)	4.500	4.026	0.237	1.18	1.05	15.9	12.7	3.17	0.661	10.8	403
	80 (x)	4.500	3.826	0.337	1.18	1.00	15.9	11.5	4.41	0.597	14.9	663
	XX	4.500	3.152	0.674	1.18	0.825	15.9	7.80	8.10	0.405	27.5	1602
5	40 (s)	5.563	5.047	0.258	1.46	1.32	24.3	20.0	4.30	1.04	14.6	498 ^{d(2)}
	80 (x)	5.563	4.813	0.375	1.46	1.26	24.3	18.2	6.11	0.945	20.8	825
	XX	5.563	4.063	0.750	1.46	1.06	24.3	13.0	11.3	0.673	38.6	1951
6	40 (s)	6.625	6.065	0.280	1.73	1.59	34.5	28.9	5.58	1.50	18.0	467
	80 (x)	6.625	5.761	0.432	1.73	1.51	34.5	26.1	8.40	1.35	28.6	825
	XX	6.625	4.897	0.864	1.73	1.28	34.5	18.8	15.6	0.978	53.1	1912
8	30 (s)	8.625	8.071	0.277	2.26	2.11	58.4	51.2	7.26	2.66	24.7	351
	40 (s)	8.625	7.981	0.322	2.26	2.09	58.4	50.0	8.40	2.60	28.6	431
	80 (x)	8.625	7.625	0.500	2.26	2.00	58.4	45.7	12.8	2.37	43.4	753
	XX	8.625	6.875	0.875	2.26	1.80	58.4	37.1	21.3	1.93	72.4	1460
10	(s)	10.750	10.192	0.279	2.81	2.67	90.8	81.6	9.18	4.24	31.2	285
	30 (s)	10.750	10.136	0.307	2.81	2.65	90.8	80.7	10.1	4.19	34.2	324
	40 (s)	10.750	10.020	0.365	2.81	2.62	90.8	78.9	11.9	4.10	40.5	405
	60 (x)	10.750	9.750	0.500	2.81	2.55	90.8	74.7	16.1	3.88	54.7	600
12	30 (s)	12.750	12.090	0.330	3.34	3.17	128.	115.	12.9	5.96	43.8	299
	(s)	12.750	12.000	0.375	3.34	3.14	128.	113.	14.6	5.88	49.6	352
	(x)	12.750	11.750	0.500	3.34	3.08	128.	108.	19.2	5.63	65.4	503
14	30 (s)	14.000	13.250	0.375	3.67	3.46	154.	138.	16.0	7.17	54.6	458 ^{d(3)}
	(x)	14.000	13.000	0.500	3.67	3.15	154.	133.	21.2	6.70	72.1	653

APÉNDICE D

RUGOSIDAD RELATIVA PARA DIFERENTES MATERIALES



APÉNDICE E
DIAGRAMA DE MOODY



ÁBACO DE MOODY

APÉNDICE F

PERDIDAS POR ACCESORIOS EN TUBERÍAS

Friction Loss**EQUIVALENT NUMBER OF FEET STRAIGHT PIPE FOR DIFFERENT FITTINGS**

Size of fittings, inches	½"	¾"	1"	1¼"	1½"	2"	2½"	3"	4"	5"	6"	8"	10"
90° Ell	1.5	2.0	2.7	3.5	4.3	5.5	6.5	8.0	10.0	14.0	15	20	25
45° Ell	0.8	1.0	1.3	1.7	2.0	2.5	3.0	3.8	5.0	6.3	7.1	9.4	12
Long Sweep Ell	1.0	1.4	1.7	2.3	2.7	3.5	4.2	5.2	7.0	9.0	11.0	14.0	
Close Return Bend	3.6	5.0	6.0	8.3	10.0	13.0	15.0	18.0	24.0	31.0	37.0	39.0	
Tee-Strait Run	1	2	2	3	3	4	5						
Tee-Side Inlet or Outlet or Pflintz Adapter	3.3	4.5	5.7	7.6	9.0	12.0	14.0	17.0	22.0	27.0	31.0	40.0	
Ball or Globe Valve Open	17.0	22.0	27.0	36.0	43.0	55.0	67.0	82.0	110.0	140.0	160.0	220.0	
Angle Valve Open	8.4	12.0	15.0	18.0	22.0	28.0	33.0	42.0	58.0	70.0	83.0	110.0	
Gate Valve-Fully Open	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.3	2.9	3.5	4.5	
Check Valve (Swing)	4	5	7	9	11	13	16	20	26	33	39	52	65
In Line Check Valve (Spring) or Foot Valve	4	6	8	12	14	19	23	32	43	58			

Example:

(A) 100 ft. of 2" plastic pipe with one (1) 90° elbow and one (1) swing check valve.

90° elbow - equivalent to 5.5 ft. of straight pipe

Swing check - equivalent to 13.0 ft. of straight pipe

100 ft. of pipe - equivalent to 100 ft. of straight pipe

118.5 ft. = Total equivalent pipe

Figure friction loss for 118.5 ft. of pipe.

(B) Assume flow to be 80 GPM through 2" plastic pipe.

1. Friction loss table shows 11.43 ft. loss per 100 ft. of pipe.

2. In step (A) above we have determined total ft. of pipe to be 118.5 ft.

3. Convert 118.5 ft. to percentage $118.5 \div 100 = 1.185$

4. Multiply 11.43

$\times 1.185$

13.54455 or 13.5 ft. = Total friction loss in this system.

PIPE VOLUME AND VELOCITY**Storage of Water in Various Size Pipes**

Pipe Size	Volume in Gallons per Foot	Pipe Size	Volume in Gallons per Foot
1½"	.06	6"	1.4
1½"	.09	8"	2.6
2"	.16	10"	4.07
3"	.36	12"	5.87
4"	.652		

Minimum Flow to Maintain 2 ft./sec. *Scouring Velocity in Various Pipes

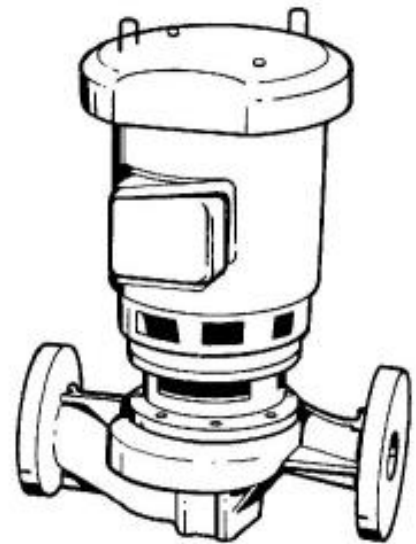
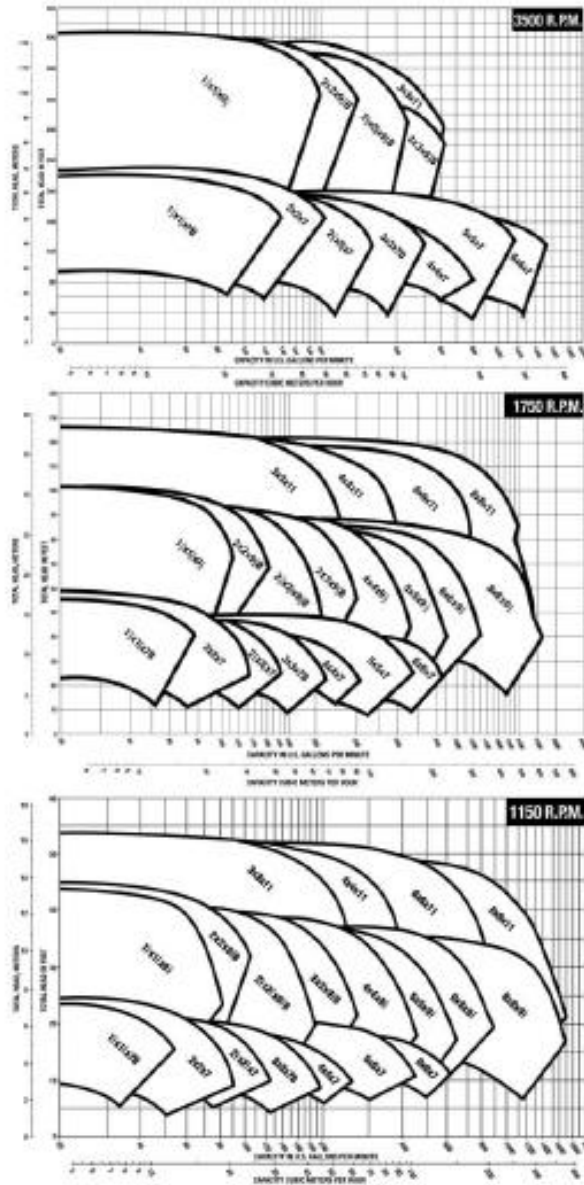
Pipe Size	Minimum GPM	Pipe Size	Minimum GPM
1½"	9	6"	180
1½"	13	8"	325
2"	21	10"	500
3"	46	12"	700
4"	80		

* Failure to maintain or exceed this velocity will result in clogged pipes. Based on schedule 40 nominal pipe.

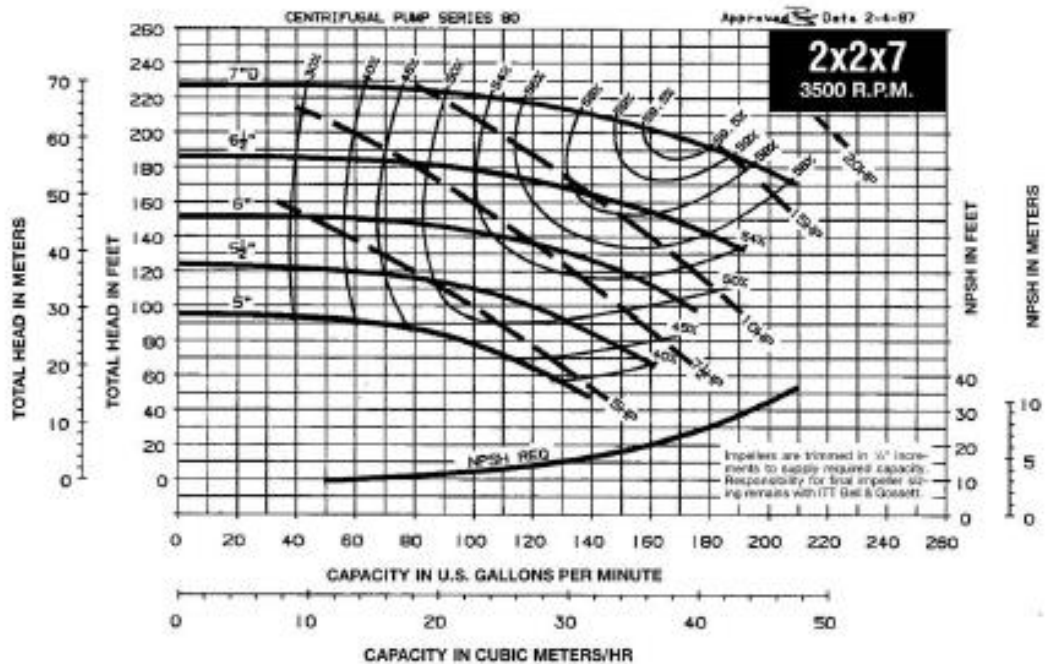
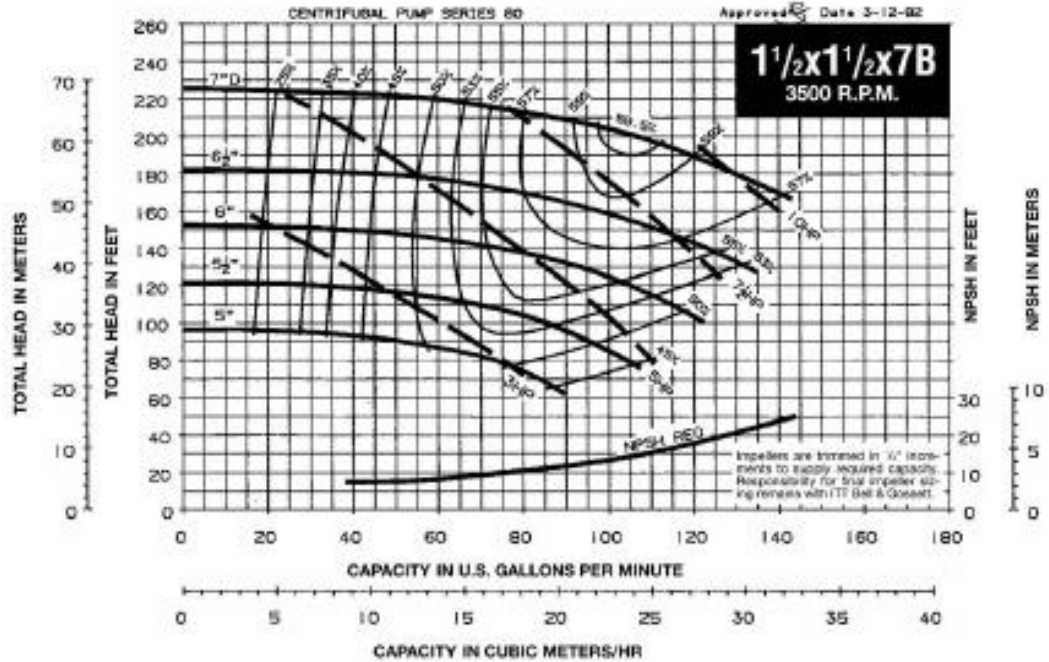
APÉNDICE G
SELECCIÓN DE BOMBAS

SERIES 80

IN-LINE MOUNTED CENTRIFUGAL PUMP PERFORMANCE CURVES - 60 HZ

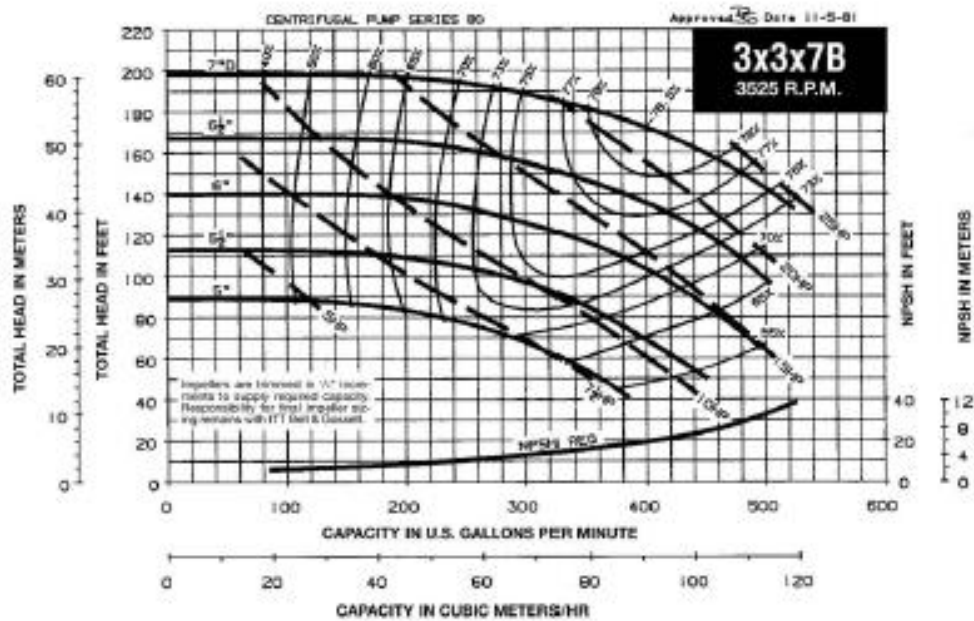
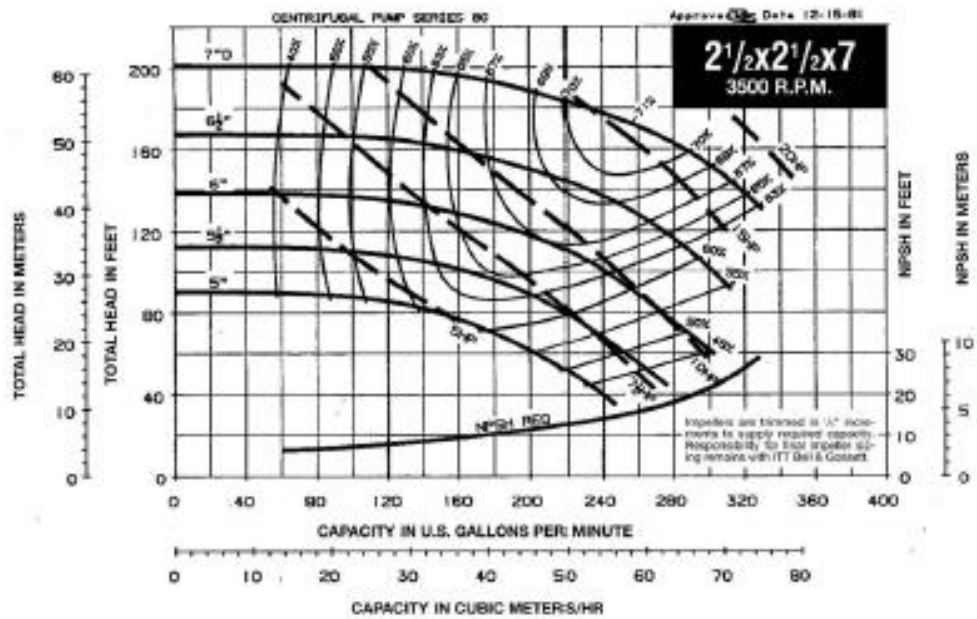


3500 RPM PUMP CURVES



SERIES 80 STANDARD PUMPS

3500 RPM PUMP CURVES

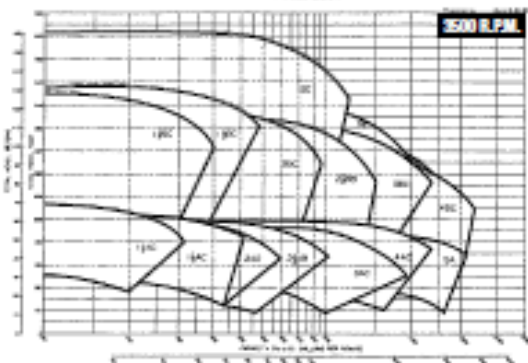
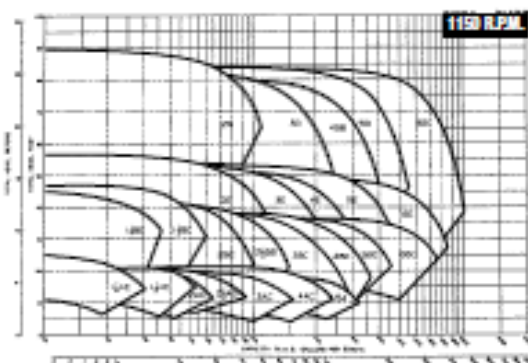
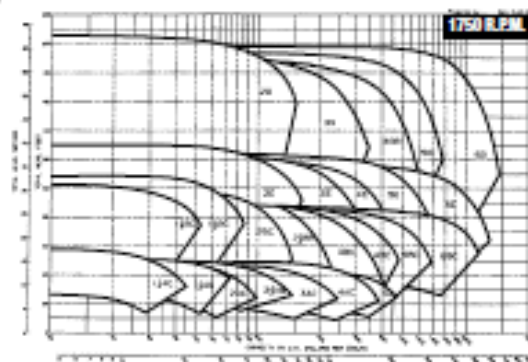




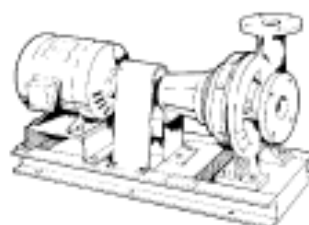
Bell & Gossett

CURVE BOOKLET

B-260G



60 HERTZ PERFORMANCE CURVES



Base Mounted Centrifugal Pump Performance Curves

Part of the



and

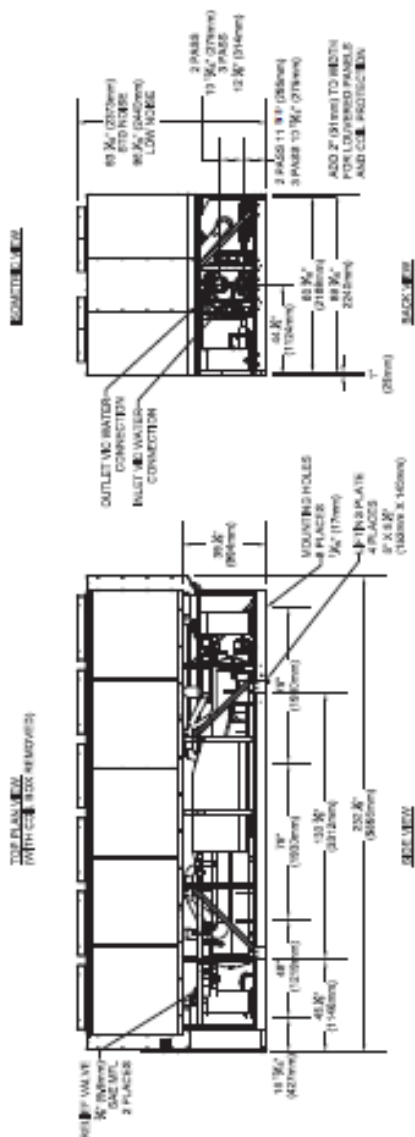


Equipment Selection Programs

Bell & Gossett
ITT Industries

SERIES 1510

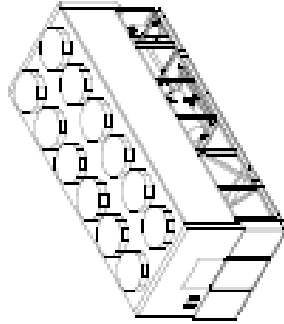
APÉNDICE H
CHILLER DE 200 TR



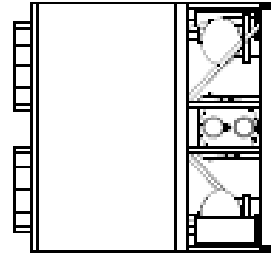
Unit Dimensions - Air-Cooled Helical Rotary Water Chillers
Item: A1 Qty: 1 Tag(s): RTAC-1

WATER VOLUME STORAGE 40 GAL (151 LITER)

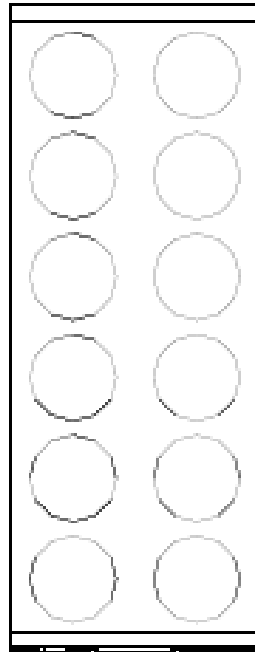
11/16"
MOUNTING HOLE DIAMETER
6 in (152.4 mm) NPS
WATER CONNECTION DIAMETER
6" x 5 1/2"
LIFTING PLATE DIMENSIONS



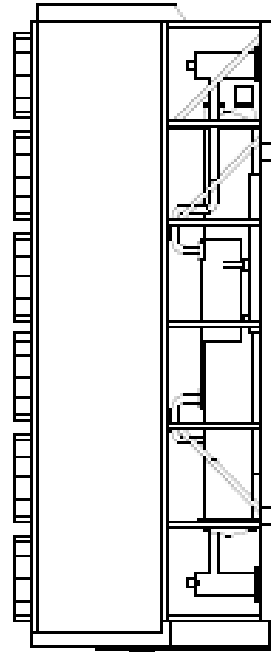
ISOMETRIC VIEW



END VIEW

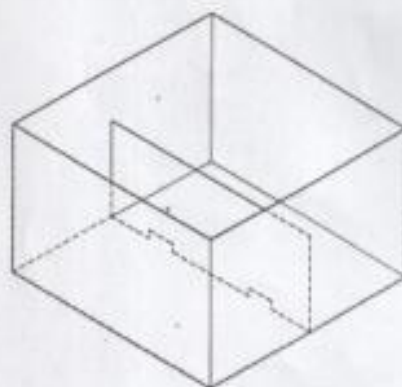
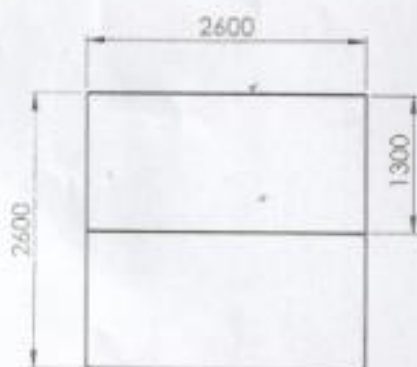
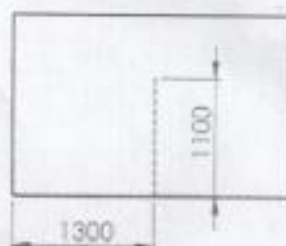


TOP (PLAN) VIEW

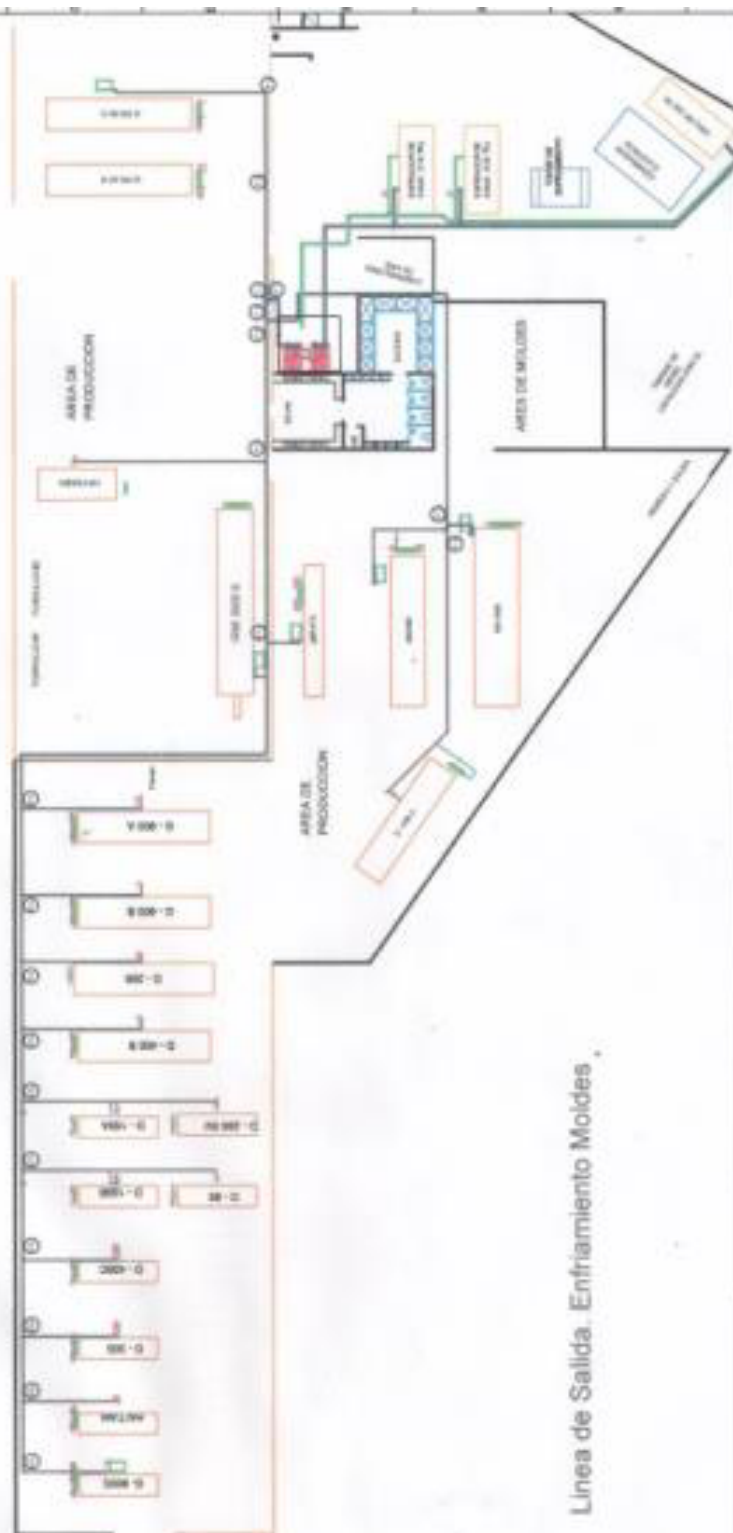


SIDE VIEW

PLANOS

[illegible]

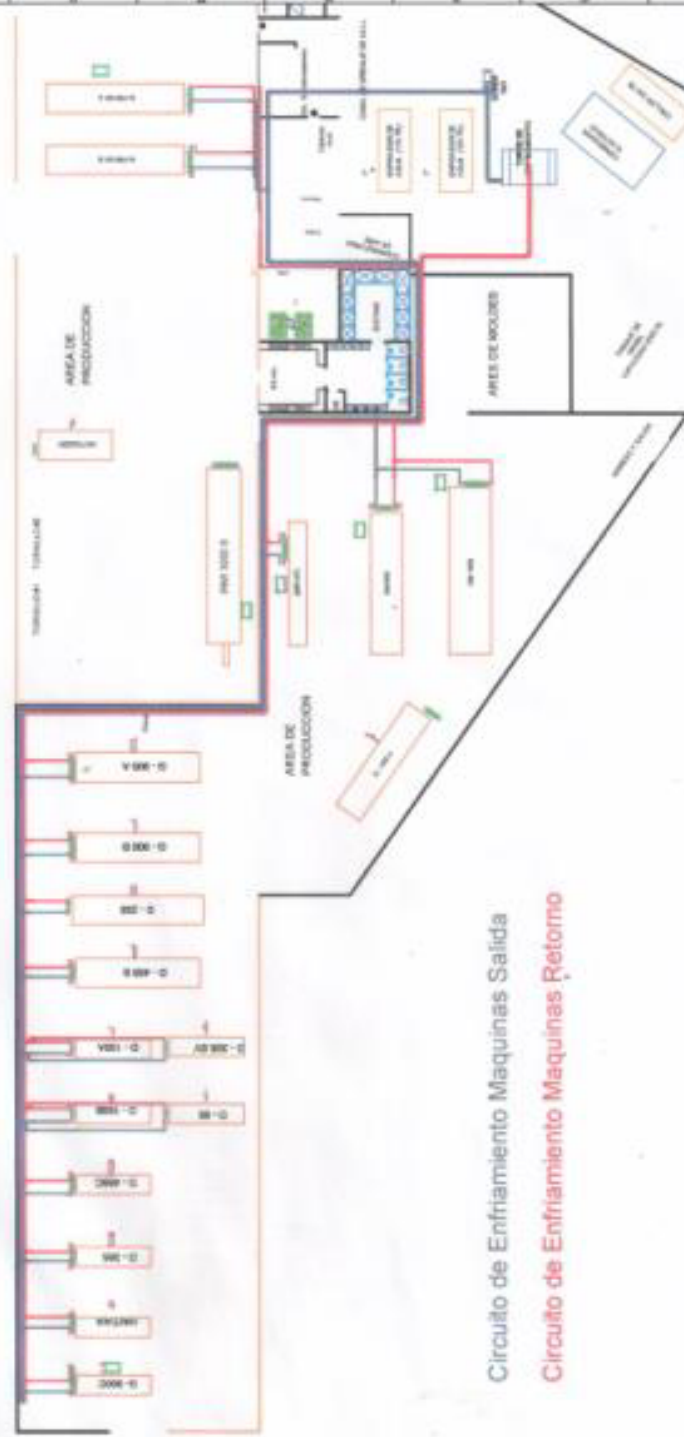
VISTA DE PLANTA Circuito de Enfriamiento Actual Moldes



Linea de Salida. Enfriamiento Moldes

PROYECTO	CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE ENFRIAMIENTO
FECHA	2008
ESCALA	1:100
HOJA	1
TOTAL	1

Circuito de Enfriamiento Máquinas Utilizando
Torre de Enfriamiento- Vista de Planta

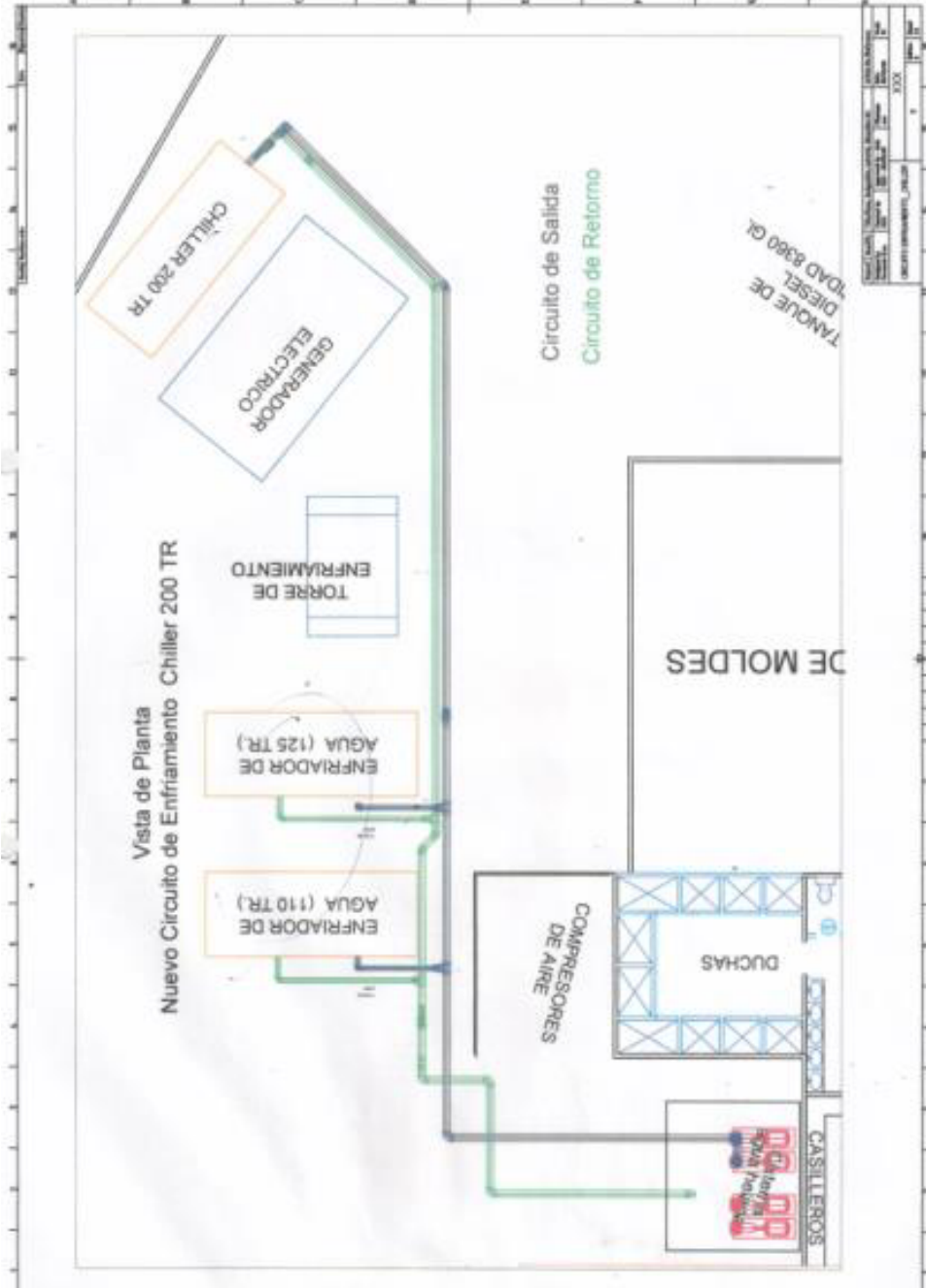


Circuito de Enfriamiento Maquinas Salida

[Circuito de Enfriamiento Maquinas Retorno](#)

[illegible]





VISTA DE PLANTA
Nuevo Circuito de Enfriamiento Agua Helada
Máquinas y Moldes

Linea de Salida, Enfriamiento Moldes y Maquinas
 Linea de Retorno, Enfriamiento Moldes y Maquinas

MAQUINA	MOLDE	PRODUCTION	RETOUR
1	1	1	1
2	2	2	2
3	3	3	3
4	4	4	4
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9
10	10	10	10

Linea de Retorno, Enfriamiento Moldes y Maquinas

BIBLIOGRAFÍA

1. GUSTAVO PINO AVEGNO, "Reingeniería del sistema de agua de enfriamiento de una planta de producción de conductores eléctricos" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2003).
2. DANIEL BENAVIDES, "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).
3. <http://www.monografias.com/trabajos58/tratamiento-aguas-enfriamiento/tratamiento-aguas-enfriamiento2.shtml#ixzz3DXXZHkHu>
4. MUNSON BRUCE R. Y YOUNG DONALD F, Fundamentos de Mecánica de Fluidos, Primera Edición, Editorial Limusa S.A. de C.V., 1999.
5. <http://www.ingenieriarural.com>
6. www.vaxasoftware.com
7. BELL&GOSSETT, Curvas de selección de bombas centrífugas (Serie 80 y 1510).

8. Grupo IMECPLAST, Moldes y Sistemas de colada caliente.
9. Grupo AIMPLAST, Instituto Tecnológico del plástico