



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

**REDISEÑO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE  
AGUA SUAVE EN PLANTA 2 PARA LA EMPRESA TEXTIL TENNAT, S. A.  
GUATEMALA**

**Gustavo Adolfo Soto Cortéz**

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDISEÑO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE  
AGUA SUAVE EN PLANTA 2 PARA LA EMPRESA TEXTIL TENNAT, S. A.  
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**GUSTAVO ADOLFO SOTO CORTÉZ**  
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **REDISEÑO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA SUAVE EN PLANTA 2 PARA LA EMPRESA TEXTIL TENNAT, S. A. GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 6 de septiembre de 2019.

**Gustavo Adolfo Soto Cortéz**



Guatemala, 16 de febrero de 2021  
REF.EPS.DOC.16.02.21

Ingeniero  
Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica, **GUSTAVO ADOLFO SOTO CORTÉZ, Registro Académico No. 201540947** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **REDISEÑO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA SUAVE EN PLANTA 2 PARA LA EMPRESA TEXTIL TENNAT, S.A. GUATEMALA**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma  
**Asesor-Supervisor de EPS**  
Área de Ingeniería Mecánica



Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 27 de febrero de 2021  
REF.EPS.D.44.02.2021

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Morales Baiza:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **REDISEÑO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA SUAVE EN PLANTA 2 PARA LA EMPRESA TEXTIL TENNAT, S.A. GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Gustavo Adolfo Soto Cortez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
"Id y Enseñad a Todos"  
A handwritten signature in blue ink is written over a circular official stamp. The stamp contains the text: "Universidad de San Carlos de Guatemala", "DIRECCIÓN", "Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS", and "Facultad de Ingeniería".

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS

OAH/ra



**USAC**

TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.134.2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **REDISEÑO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA SUAVE EN PLANTA 2 PARA LA EMPRESA TEXTIL TENNAT, S.A. GUATEMALA** del estudiante **Gustavo Adolfo Soto Cortéz**, CUI **2992192080101**, Reg. Académico **201540947** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

***"Id y Enseñad a Todos"***



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, octubre de 2021

/aej



**USAC**  
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.070.2021

El Revisor de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **REDISEÑO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA SUAVE EN PLANTA 2 PARA LA EMPRESA TEXTIL TENNAT, S.A. GUATEMALA** del estudiante **Gustavo Adolfo Soto Cortéz, CUI 2992192080101, Reg. Académico No. 201540947** y habiendo realizado la revisión de Escuela se autoriza para que continúe su trámite en la oficina de Lingüística, Unidad de Planificación.

***"Id y Enseñad a Todos"***



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Revisor  
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, mayo de 2021

/aej



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**Decanato**  
**Facultad de Ingeniería**  
**24189101- 24189102**

DTG. 487.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **REDISEÑO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA SUAVE EN PLANTA 2 PARA LA EMPRESA TEXTIL TENNAT, S. A. GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Gustavo Adolfo Soto Cortéz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser lo principal en nuestra vida y por derramar su bendición sobre todos estos años.
- Mis padres** Mirna Judith Cortez Girón de Soto, Marco Vinicio Soto Urizar, por ser mi ayuda incondicional y motivación para el logro de mis metas.
- Mi novia** Carla Morales Castilla, por apoyarme de principio a fin y motivarme tanto con su amor incondicional.
- Mis hermanos** Marco Vinicio y Guillermo Raúl Soto Cortéz, por sus consejos, ejemplo y apoyo que me dieron en estos años.
- Mis amigos de la Facultad** Por esos días de alegría y estudio que me hicieron sentirme en familia, determinante para dar lo mejor de mí y terminar esta carrera.

## **Mis buenos amigos**

Lighia Martínez, Mishell Domingo, Meliza Fuentes, Alexandra Hernández, Dulce Romano, Brayan Ovalle, Herberg González, Kevin Guarcas, Xicón, Edgar Morales, Fletcher Andrade, sin importar en qué circunstancias hemos compartido experiencias, de alguna forma llenan mi corazón de alegría.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una importante influencia en mí y acogerme en sus instalaciones durante estos años.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por darme la mejor experiencia en el ámbito universitario y brindarme los conocimientos necesarios para empezar el principio de una vida de éxito.
<b>Mis amigos y apoyo en Liztex</b>	Paola López, Sergio Sánchez, Marvin Orellana, Diego Rodas, por hacer de mi último semestre la mejor experiencia de trabajo y esfuerzo, y por ser la base del éxito en una relación de profesionalismo.
<b>Personal de Liztex</b>	Ingeniero Gustavo Licon, Ingeniero Rodrigo Juárez, Hugo Consuegra y Diego López, por recibirme en la institución y confiar en mí para las distintas experiencias en las que formé parte con ustedes.

**Mis amigos de la infancia**

Renato Recinos, Martin Velázquez, Estuardo Amado, Eduardo Rayo, Kurt Staimuller, Luis Pedro Rosales, Kevin Sosa, Marco Chew, por iniciar conmigo el principio de una gran historia de una nueva etapa de mi vida.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XV
RESUMEN .....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. FASE DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Datos sobre la empresa de la empresa.....	2
1.1.1. Ubicación .....	2
1.1.2. Historia.....	3
1.1.3. Misión.....	3
1.1.4. Visión .....	3
1.1.5. Valores.....	4
1.2. Descripción del problema .....	4
1.3. Conceptos elementales .....	5
1.3.1. Agua.....	5
1.3.2. Presión.....	5
1.3.3. Temperatura .....	5
1.3.4. Densidad.....	6
1.3.5. Peso específico.....	6
1.3.6. Viscosidad.....	6
1.3.6.1. Viscosidad dinámica.....	6
1.3.6.2. Viscosidad cinemática.....	7
1.3.7. Número de Reynolds .....	7

1.3.8.	Velocidad del agua .....	7
1.3.9.	Área transversal.....	7
1.3.10.	Caudal volumétrico .....	8
1.3.11.	Dureza del agua .....	8
	1.3.11.1. Dureza temporal.....	8
	1.3.11.2. Dureza permanente.....	8
1.3.12.	pH .....	9
1.3.13.	Impurezas en el agua .....	9
1.3.14.	Agua suavizada .....	9
1.3.15.	Intercambio iónico.....	9
1.3.16.	Bombas hidráulicas .....	10
	1.3.16.1. Bombas centrífugas .....	10
	1.3.16.2. Bombas sumergibles.....	10
	1.3.16.3. Cebado de bomba.....	10
1.3.17.	Tubería.....	11
	1.3.17.1. Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams .....	11
	1.3.17.2. Factor de fricción de Darcy-Weisbach .....	11
1.3.18.	Sistema de tuberías en serie.....	11
1.3.19.	Sistema de tuberías en paralelo.....	12
1.3.20.	Materiales comunes para tuberías de redes de agua suavizada.....	12
1.3.21.	Suavizadores de agua .....	12
1.3.22.	Redes de distribución de agua suavizada.....	13
1.3.23.	Sistemas cerrados .....	13
1.3.24.	Sistemas abiertos .....	13
1.3.25.	Accesorios para tubería de agua .....	13
1.3.26.	Instrumentación .....	14

1.3.27.	Distribución de agua suavizada.....	14
1.3.27.1.	Pozo.....	14
1.3.27.2.	Suavizadores de agua.....	14
1.4.	Diagnóstico de red de agua suavizada actual.....	15
1.4.1.	Plano de red actual.....	15
1.5.	Equipos actuales en funcionamiento que conforman la red de agua suavizada.....	17
1.5.1.	Pozos.....	17
1.5.2.	Suavizadores de agua en funcionamiento para planta 2.....	17
1.5.3.	Bombas hidráulicas para impulsión de agua hacia la planta de preparación y teñido.....	19
1.5.4.	Determinación del caudal de agua suavizada disponible y la presión de trabajo de las bombas centrífugas actual en planta 2.....	20
1.5.4.1.	Caudal de agua suave para suavizadores.....	22
1.5.4.2.	Caudal de agua suave por secciones..	22
1.5.5.	Cálculo de costo de energía eléctrica generada por las bombas hidráulicas.....	23
1.5.5.1.	Para todas las bombas hidráulicas de 24 horas de uso.....	26
1.5.5.2.	Para todas las bombas hidráulicas de 12 horas de uso.....	26
1.5.5.3.	Para todas las bombas hidráulicas para suavizado horas.....	27
1.6.	Consumo de agua suave en planta 2, preparación y teñido....	27

1.7.	Capacidad de suavizado por volumen de resina catiónica y tiempos de regeneración de resina con sal en la planta de preparación y teñido .....	28
1.7.1.	Insumos .....	30
1.7.1.1.	Calidad de agua .....	31
1.7.1.2.	Flujo entrante actual para suavizadores .....	31
1.7.1.3.	Preparación actual de salmuera .....	32
1.7.1.4.	Libras de sal por pie cúbico de resina utilizados actualmente.....	32
1.7.1.5.	Capacidad de suavizado actual .....	33
1.7.1.6.	Tiempos de regeneración actuales.....	33
1.8.	Costo actual de suavizado de agua .....	35
1.9.	Caída de presión en la red de agua suavizada actual .....	35
1.9.1.	Plano de la red actual de agua suavizada .....	36
1.9.2.	Tubería de conducción y propiedades físicas del fluido .....	38
1.9.3.	Determinación del régimen del flujo .....	39
1.9.3.1.	Número de Reynolds para tubería de alimentación de entrada 1, planta 2.....	40
1.9.3.2.	Número de Reynolds para tubería de alimentación de entrada 2, planta 2.....	40
1.9.3.3.	Número de Reynolds para tubería de alimentación de entrada 3, planta 2.....	40
1.9.4.	Cálculo de caída de presión en el sistema de tuberías de agua suave en planta 2.....	41
1.9.4.1.	Determinación de la ecuación de energía para los sistemas abiertos en planta 2.....	41

1.9.4.2.	Pérdidas por fricción y menores en sistema de entrada 1 .....	44
1.9.4.3.	Sistema 1.....	44
1.9.4.4.	Sistema 2.....	48
1.9.4.5.	Sistema 3.....	52
1.9.5.	Conversión de caída de presión a costo por energía eléctrica .....	56
2.	FASE TÉCNICA PROFESIONAL .....	59
2.1.	Rediseño de equipos especializados para el ablandamiento del agua .....	59
2.1.1.	Propuesta de localización de suavizadores, volumen de resina catiónica, tiempos de regeneración y cantidad de sal necesaria .....	59
2.1.1.1.	Consumo nuevo de agua suave para planta número dos.....	60
2.1.1.2.	Dureza a utilizar para nuevo diseño de suave de agua .....	60
2.1.1.3.	Resina catiónica propuesta a utilizar ...	62
2.1.1.4.	Propuesta de cantidad y volumen de suavizadores .....	62
2.1.1.5.	Preparación de salmuera .....	64
2.1.1.6.	Intercambio iónico y regeneración de un suavizador .....	64
2.1.2.	Control de regeneración automática .....	68
2.1.2.1.	Volumen de agua por suavizador y tiempo de regeneración para programación de sistemas automatizados, según elija el usuario ..	69

2.1.2.2.	Vida útil promedio de resina catiónica .....	70
2.1.3.	Propuesta de rediseño del sistema de conducción del agua suave .....	71
2.1.3.1.	Plano propuesto .....	72
2.1.3.2.	Diámetro de tubería de succión y descarga y velocidad recomendada ....	73
2.1.3.3.	Material y propiedades de tubería recomendada .....	76
2.1.4.	Caída de presión en red propuesta y selección de equipos para impulsión del líquido .....	80
2.1.4.1.	Sistema número uno .....	81
2.1.4.2.	Sistema número dos .....	85
2.1.5.	Selección de bombas para cada sistema.....	89
2.1.5.1.	Potencia requerida para los sistemas..	89
2.1.5.2.	Curvas características de los sistemas .....	90
2.1.5.3.	Sistema 1.....	90
2.1.5.4.	Sistema 2.....	91
2.1.5.5.	Bombas seleccionadas .....	92
2.1.5.6.	Bomba para el sistema 1 .....	97
2.1.5.7.	Bomba para el sistema 2 .....	101
2.1.6.	Costo por suavizado propuesto.....	106
3.	FASE DOCENCIA.....	109
3.1.	Capacitación para el personal de H3 .....	109
3.1.1.	Planificación.....	109
3.1.2.	Evaluación .....	110
3.1.3.	Capacitación .....	114

CONCLUSIONES .....	119
RECOMENDACIONES.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....	123
APÉNDICES .....	125



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación Tennat, S. A. ....	2
2.	Plano de red de agua suavizada, planta 2, Tennat, S. A. ....	16
3.	Diagrama de distribución de bombas, suavizadores y tuberías principales de distribución de agua suave.....	21
4.	Gráfico, libras de sal por pie <sup>3</sup> versus granos de dureza .....	29
5.	Disposición de un suavizador de agua.....	30
6.	Plano de red de agua suave en planta 2, Tennat, S. A.....	37
7.	Plano del sistema 1 de la red actual.....	45
8.	Plano del sistema 2 de la red actual.....	49
9.	Plano del sistema 3 de la red actual.....	53
10.	Recorrido del agua entre la resina .....	66
11.	Plano de red propuesta .....	73
12.	Dimensiones y velocidades de flujo recomendables para sistemas especializados .....	74
13.	Propiedades físicas de tubería ASTM-A53 .....	78
14.	Resistencia para tubería ASTM-A53 .....	79
15.	Plano del sistema 1 de red propuesta .....	82
16.	Plano del sistema 2 de red propuesta .....	86
17.	Curva característica del sistema 1 .....	90
18.	Curva característica del sistema 2 .....	91
19.	Rendimientos bomba modelo M4P7502ME .....	93
20.	Ficha técnica, bomba Victoria, modelo M4P7502ME, sistema 1 .....	94
21.	Rendimientos bomba, modelo 3P3002ME .....	95

22.	Ficha técnica, bomba Victoria, modelo 3P3002ME, sistema 2.....	96
23.	Gráfico del punto de funcionamiento de bomba seleccionada .....	98
24.	Curva de potencia consumida de la bomba sistema 1 .....	99
25.	Curva de rendimiento de la bomba sistema 1 .....	100
26.	Punto de funcionamiento de bomba seleccionada .....	102
27.	Curva de potencia consumida de la bomba sistema 2 .....	103
28.	Curva de rendimiento de la bomba sistema 2.....	104
29.	Evaluación de conocimientos básicos para personal de H3.....	111
30.	Capacitación a personal de calidad de agua .....	125
31.	Oficinas de Gerencia y Recursos Humanos .....	126
32.	Exterior de planta de preparación y teñido.....	127
33.	Interior de planta de preparación y teñido, área de teñido por agotamiento .....	128
34.	Interior de planta de preparación y teñido, área de teñido de hilo.....	129
35.	Interior de planta de preparación y teñido, maquinaria fong.....	130
36.	Interior de planta de preparación y teñido, área de chillers para enfriamiento de agua .....	131
37.	Área de bombeo de agua para planta de preparación y teñido.....	132
38.	Área de suavizadores de agua para planta de preparación y teñido Tennat.....	133

## TABLAS

I.	Información de equipo utilizado para extracción de agua de los pozos utilizados en planta 2 .....	17
II.	Información de suavizadores de agua en funcionamiento para planta 2.....	18
III.	Especificaciones de las bombas centrífugas utilizadas para el suministro de agua en planta 2.....	19
IV.	Caudal por sección y caudal total de agua suave disponible para planta 2, Tennat, S. A. ....	22
V.	Caudal de agua suave por secciones .....	23
VI.	Energía eléctrica consumida por motores de las bombas hidráulicas de planta 2 para 12 horas de uso .....	24
VII.	Energía eléctrica consumida por motores de las bombas hidráulicas de planta 2 para 12 horas de uso .....	25
VIII.	Consumo de agua de la maquinaria de planta 2.....	28
IX.	Flujo de agua a través de suavizadores.....	31
X.	Tiempos de recuperación por suavizador de agua .....	34
XI.	Costo anual total para suavizado de agua .....	35
XII.	Rugosidad para tuberías de conducción de fluidos .....	38
XIII.	Propiedades del fluido de la red de agua suavizada.....	39
XIV.	Accesorios en red de distribución de agua blanda, planta 2.....	43
XV.	Características del sistema 1 de la red actual.....	45
XVI.	Pérdidas por fricción para sistema 1 de red actual .....	47
XVII.	Características del sistema dos de la red actual .....	49
XVIII.	Pérdidas por fricción para el sistema 2 de la red actual.....	51
XIX.	Características del sistema 3 de la red actual.....	53
XX.	Pérdidas por fricción del sistema 3 de la red actual .....	55
XXI.	Resumen de caída de presión por sistema y caída total.....	56

XXII.	Consumo de agua de planta de preparación y teñido .....	60
XXIII.	Datos técnicos resina catiónica c100 marca Purikor .....	62
XXIV.	Dimensiones de tubería de succión y de descarga bajo condiciones del estándar de U.S. Army Corps of Engineers .....	75
XXV.	Características del sistema 1 de red propuesta .....	83
XXVI.	Pérdidas por fricción para sistema 1 de red propuesta.....	84
XXVII.	Características para el sistema 2 .....	87
XXVIII.	Pérdidas por fricción del sistema 2 de la red propuesta .....	88
XXIX.	Tabla de resumen de especificaciones de la bomba .....	105
XXX.	Costo de suavizado de agua de propuesta.....	107
XXXI.	Comparativo económico de red actual versus red propuesta.....	108
XXXII.	Calendarización para la planificación de las capacitaciones a personal de H3 .....	110
XXXIII.	Calificaciones evaluación a H3.....	113
XXXIV.	Nivel de escolaridad de los evaluados .....	113
XXXV.	Punteos de las evaluaciones en proceso de capacitación.....	115
XXXVI.	Notas de evaluación inicial y final.....	116

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Z</b>	Altura
<b>TDH</b>	Altura dinámica total de una bomba hidráulica
<b>CDT</b>	Carga dinámica total, referente a un sistema de tuberías
<b>Q</b>	Caudal
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b>mg/l</b>	Densidad de sólidos en un volumen de fluido
<b><math>\phi</math></b>	Diámetro
<b>\$</b>	Dólar, moneda de EE. UU.
<b>EFF</b>	Eficiencia de bomba centrífuga
<b>kwh</b>	Energía de consumo en kilovatios hora
<b>gpm</b>	Galones por minuto
<b>GD</b>	Granos de dureza en una sustancia
<b>g</b>	Gravedad de la tierra
<b>hrs</b>	Horas
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>lbs</b>	Libras masa
<b>lts</b>	Litros
<b>lts/min</b>	Litros por minuto
<b>Mw</b>	Mega watt
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>3</sup>/h</b>	Metro cúbico por hora
<b>ml</b>	Mililitros

<b>mm</b>	Milímetros
<b>min</b>	Minutos
<b>Re</b>	Número de Reynolds
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>γ</b>	Peso específico
<b>pie<sup>3</sup></b>	Pies cúbicos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>hp</b>	Potencia
<b>P</b>	Presión
<b>pulg</b>	Pulgadas
<b>Q</b>	Quetzal, moneda de Guatemala
<b>RPM</b>	Revoluciones por minuto
<b>ε</b>	Rugosidad relativa
<b>seg</b>	Segundos
<b>v</b>	Velocidad
<b>w</b>	Watt

## GLOSARIO

<b>Aforo</b>	Acción de tomar el volumen de un fluido que fluye en una unidad de tiempo.
<b>ASTM</b>	American Society of Testing Materials (Sociedad Americana de Ensayo de Materiales).
<b>Caída de presión</b>	Cantidad de energía pérdida de un fluido al fluir en una tubería.
<b>Energía</b>	Capacidad de los cuerpos de realizar un trabajo.
<b>Máquina hidráulica</b>	Transformador de energía a energía de presión, posición o velocidad que se transmite a un fluido para realizar un trabajo.
<b>Red de distribución</b>	Conjunto de tuberías conectadas entre sí, para conducir un fluido de un punto de inicio hacia un punto final.
<b>Salmuera</b>	Agua saturada de sal.
<b>U. S. ACE</b>	U.S. Army Corps of Engineers, Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos.



## RESUMEN

Este proyecto se basó en el estudio y el análisis de la red de agua suavizada en la planta de preparación y teñido Tennat, S. A. lugar en que se llevó a cabo el ejercicio profesional supervisado.

Debido a varios problemas se realizó el diagnóstico de la red de agua suavizada, la cual comienza desde la salida de los múltiples pozos hasta las tuberías entrantes a la maquinaria de la planta de preparación y teñido. En la fase de investigación se analizó la red de distribución actual, la demanda de agua de la maquinaria y la capacidad de suministro de agua por bomba y suavizador, además se midió la longitud total de la tubería y los diferentes diámetros en la red para determinar la caída de presión en el sistema y el consumo energético que esto provoca, se determinó la capacidad de suavizado de agua y si es suficiente para alimentar a la planta. En la fase técnico profesional se rediseñó la línea de agua suavizada, se redistribuyó los suavizadores y la cantidad necesaria de ellos.

Posteriormente se rediseñó la línea de distribución para manejar la menor caída de presión, así se eligieron los diámetros ideales para mantener en el sistema la presión de agua necesaria de la maquinaria y se determinaron los accesorios y controles necesarios para un buen control de la calidad y distribución del agua suave, se calculó costos aproximados para suavizar el agua a la capacidad nueva del sistema rediseñado; estas acciones fueron realizadas con el objetivo de solucionar problemas en la producción de tela; tanto la preparación de ella como el teñido necesitan agua de alta calidad y un suministro constante de la misma, por lo que este documento se realizó como una vía para la solución

y evitar los costos generados por los problemas causados en la preparación y teñido de telas relacionados al agua suave.

En la última fase se capacitó al personal de calidad de agua, introduciéndoles conceptos necesarios para uso y mantenimiento de la red, la importancia del buen manejo de los equipos, cómo obtener ahorro económico manteniendo el servicio de agua suave con los requerimientos de la empresa y, por último, se les enseñó la importancia de un control más profundo de la red de distribución y la información más importante que algunos instrumentos de medición pueden brindar, para conocer el estado de la red, y a la vez, información para tomar decisiones importantes para realizar ajustes o modificaciones futuras a la red.

# OBJETIVOS

## General

Optimizar el sistema de distribución de agua suavizada y crear un rediseño de esta misma; la cual sea más eficiente y genere menores costos.

## Específicos

1. Determinar una relación directa entre el costo por unidad de presión para determinar el ahorro económico al eliminar defectos e ineficiencias en la red de distribución de agua suave.
2. Determinar el consumo de agua actual en la planta de preparación y teñido.
3. Economizar el consumo energético dentro de la planta 2.
4. Determinar el volumen de resina catiónica necesaria, en función del caudal de consumo de agua, haciendo más eficiente el proceso de suavizado y economizar gastos innecesarios.
5. Proponer la mejor resina catiónica, así como el uso correcto y su mantenimiento para ampliar la vida útil de este producto.

6. Establecer qué método de regeneración es más conveniente, tomando en cuenta la precisión, exactitud y el control entre una regeneración automatizada y manual.
7. Capacitar al personal de calidad de agua y al personal encargado de la red de distribución.
8. Descubrir el problema actual de la red de distribución por la cual algunos equipos hidráulicos tienen fallas concurrentes.

## INTRODUCCIÓN

La empresa Textil Tennat, S. A. cuenta con distintas áreas las cuales juegan un papel importante para la producción de la tela como producto final, la fibra de algodón y poliéster, se procesa para la creación y obtención de telas finas, produciendo telas cien por ciento de algodón, y mezclas de algodón con poliéster en distintos porcentajes.

Los procesos para la creación de estas telas involucran distintas áreas de ingeniería, ya que la interacción de la materia prima con los insumos varía en exceso cuando no se manejan las condiciones de acuerdo al proceso. Los insumos utilizados en general son: químicos, aire comprimido, vapor sobrecalentado y agua suavizada. Esta última fue el objeto de estudio en este proyecto.

El agua suavizada en la planta de preparación y teñido maneja el papel más importante en la interacción con los químicos, y, por ende, depende de ella la calidad del producto final. Hace algún tiempo se han visto defectos en el producto final debido a la mala calidad del agua suavizada, por lo que genera reprocesos los cuales son una gran pérdida de dinero diario para la empresa; además hay quejas sobre la presión del agua y residuos de hierro en el agua; por lo que se cortó una pequeña parte de la tubería de agua suave y se observó que casi un 50 % del área transversal y un 100 % longitudinal presentó incrustación de mineral, dando la preocupación que debe ser una tubería limpia, ya que es agua suavizada.

El proyecto se basó en el diagnóstico de estos problemas y buscar una solución para ellos, además de brindar un rediseño de la línea, para lograr mayor eficiencia en todo el sistema de distribución de agua suave.

# 1. FASE DE INVESTIGACIÓN

La empresa Tennat, S. A. se dedica a la transformación de materia prima de fibras naturales, algodón y sintéticas, poliéster en telas con acabados finos, con la capacidad de producir sus propios hilos en la planta de hilatura, sus propios tejidos en la planta de tejeduría y sus propias telas terminadas con acabados mecánicos, químicos y un área especial para la preparación al teñido de la tela en la planta número dos de preparación y teñidos.

La empresa se ha convertido en la productora de textil más grande e importante de Guatemala, produciendo tela para venta local, pero en su mayoría para el extranjero. La producción de tela es un proceso que ha tomado cientos de años en pulirse, por lo que producir textiles finos es un arte que requiere de un enorme trabajo de parte de cada empleado dentro de la empresa, por lo que en el ámbito de la ingeniería, se pueden encontrar áreas de desarrollo profesional en las ramas de ingeniería industrial, mecánica, eléctrica, electrónica, química y ambiental; específicamente en el área de ingeniería mecánica es posible en una industria textil desarrollar conocimientos y aplicarlos en temas como: aire comprimido, hidráulica, tratamiento de agua, termodinámica, calderas y refrigeración.

Esta industria es ideal para el desarrollo de la ingeniería y gracias a empresas como Tennat, S. A. es posible darles la oportunidad a estudiantes de poner en práctica los conocimientos recibidos por años y darles una oportunidad para su desarrollo profesional.

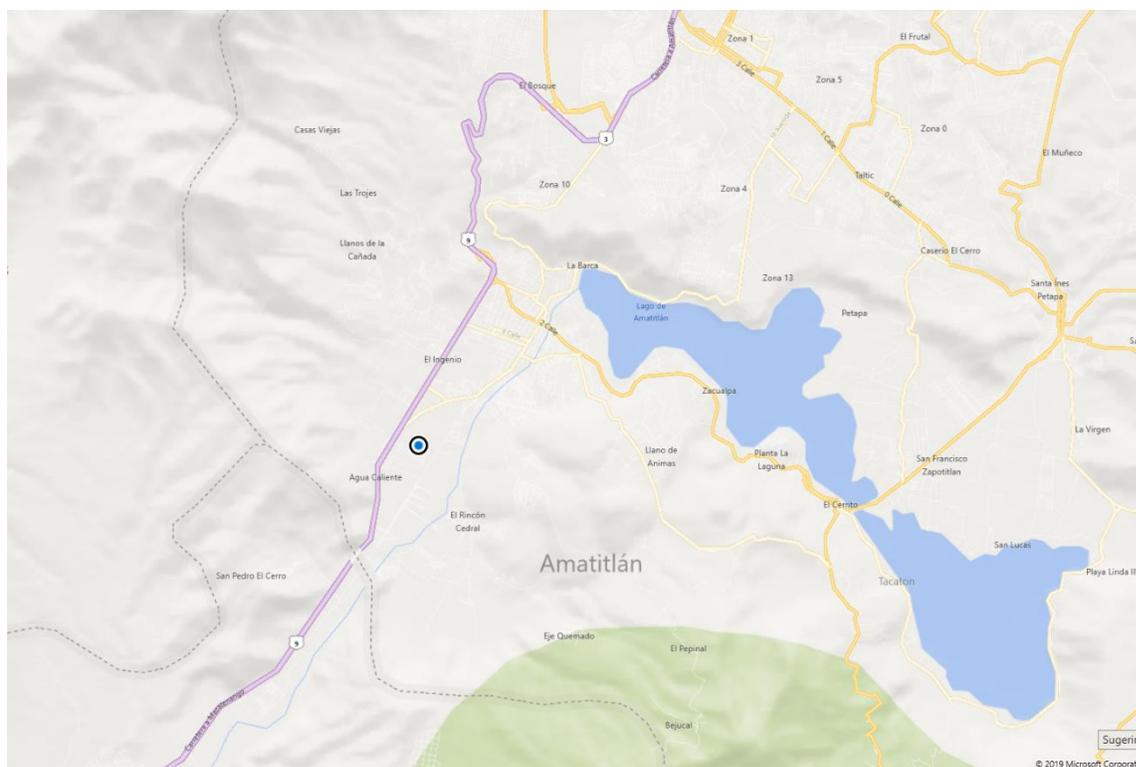
## 1.1. Datos sobre la empresa de la empresa

A continuación, se describe información sobre la empresa Tennat, S. A.

### 1.1.1. Ubicación

Tennat, S. A. se encuentra en el km 30,5 carretera al Pacífico, Amatitlán, parques del lago. La ubicación gráfica se muestra en la figura 1.

Figura 1. Ubicación Tennat, S. A.



Fuente: Google Maps. *Tennat, S.A.*, <https://goo.gl/maps/HiFXXr8NuTbmuM3ZA>. Consulta: 5 de mayo de 2020.

### **1.1.2. Historia**

Liztex Guatemala tuvo origen en 1956, el talento y experiencia de los fundadores permitió que el negocio evolucionara desde una empresa comercializadora de telas a una capaz de diseñar, producir y vender sus propios productos. Habiendo ya logrado abastecer el mercado local, en 1973 inauguran el mercado internacional a través de sus primeras exportaciones a Estados Unidos de Norte América.

Mediante pasión y esfuerzo constante se logra alcanzar el objetivo: transformarse en un supermercado textil. Transformada en una compañía capaz de producir y comercializar una amplísima gama de productos diversos como hilo, tejido plano, tejido de punto, tejidos de hilo preteñido, tejidos estampados. La empresa se forjó hasta ser una marca propia, reconocida en la industria textil.

### **1.1.3. Misión**

“Ofrecer una amplia cartera de productos y servicios textiles que satisfagan las necesidades de nuestros clientes”<sup>1</sup>.

### **1.1.4. Visión**

“Ser una empresa textil consolidada y reconocida, cuyo desempeño sea apreciado por nosotros, nuestros clientes, proveedores”<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Liztex Guatemala. *Página de inicio*. <https://liztex.com/>.

<sup>2</sup> *Ibíd.*

### **1.1.5. Valores**

- Vocación de servicio
- Creatividad
- Excelencia
- Responsabilidad
- Transparencia e integridad

### **1.2. Descripción del problema**

La tela es un material sumamente sensible y delicado, por lo cual, clientes o compradores de telas son bastante exigentes respecto a la calidad del producto que se les vende. Dentro de las docenas de procesos que se realizan dentro de una fábrica textil, los procesos más delicados y donde requiere más precisión y se encuentra más susceptible el error humano, es en la planta de preparación y teñido, en ella se utiliza un amplio catálogo de insumos químicos que deben ser mezclados con agua para su uso y esta agua debe ser estrictamente suavizada; agua que garantiza la correcta reacción química de los diferentes insumos.

Últimamente, algunos lotes de tela han presentado algunos defectos, por ejemplo: manchas de óxido, picaduras y discrepancia en la tonalidad del teñido, por lo que se investigó la causa raíz de estos problemas y resultó en ser el agua que le llega a las máquinas, teniendo problemas de presión, caudal y calidad de agua, estos factores son clave para el teñido y los acabados de la tela, breve ejemplo, las picaduras son debido a que el agua lleva consigo contaminantes y aun dureza, y al trabajar en máquinas a presión y con los químicos la tela se le hacen orificios, los cuales son incorregibles y se pierden muchas yardas de tela de producto tratado.

El problema antes mencionado es el agua que se extrae de pozos para abastecer el consumo de parte de la maquinaria para la producción, por lo que se ha de proponer soluciones para cumplir con los requerimientos de agua suavizada dentro de la planta 2.

### **1.3. Conceptos elementales**

Dentro del campo de la ingeniería se deben manejar conceptos básicos, los cuales ayudarán a entender el funcionamiento de los sistemas de fluidos.

#### **1.3.1. Agua**

“Líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, cuyas moléculas están formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, y que constituye el componente más abundante de la superficie terrestre y el mayoritario de todos los organismos vivos”<sup>3</sup>.

#### **1.3.2. Presión**

Según la Real Academia Española, la presión es una magnitud física que expresa la fuerza ejercida sobre una superficie y cuya unidad en el sistema internacional es el pascal y en el sistema inglés psi.

#### **1.3.3. Temperatura**

“Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el grado Kelvin °K”<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> Real Academia Española. *Agua*. <https://dle.rae.es/agua>.

<sup>4</sup> Real Academia Española. *Temperatura*. <https://dle.rae.es/temperatura>.

#### **1.3.4. Densidad**

Según la Real Academia Española, la densidad es una magnitud física que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, cuya unidad en el sistema internacional es el kilogramo por metro cúbico  $\text{kg/m}^3$ .

#### **1.3.5. Peso específico**

Magnitud que expresa la relación entre el peso de un cuerpo por unidad de volumen, cuya unidad en el sistema internacional es el newton por metro cúbico  $\text{N/m}^3$ .

#### **1.3.6. Viscosidad**

Medida de la resistencia de un fluido a las deformaciones graduales producidas por esfuerzos cortantes.

##### **1.3.6.1. Viscosidad dinámica**

“Magnitud que relaciona la resistencia al esfuerzo en un fluido en movimiento con la velocidad de deformación de las partículas fluidas. La viscosidad dinámica, designada como  $\mu$ , se mide en unidades del sistema internacional, en pascal-segundo  $\text{Pa}\cdot\text{s}$  o  $\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ , o  $\text{Kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ ”<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Real Academia Española. *Viscosidad dinámica*. <https://dle.rae.es/viscosidaddinamica>.

### **1.3.6.2. Viscosidad cinemática**

Magnitud que relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del líquido, cuya unidad en el sistema internacional son los metros cuadrados por segundo  $m^2/s$ .

### **1.3.7. Número de Reynolds**

Es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos para predecir la característica de un flujo en movimiento, el régimen del flujo se denota por intervalos de valores de número de Reynolds, estos pueden ser: flujo laminar, flujo turbulento y flujo en transición.

### **1.3.8. Velocidad del agua**

Magnitud física definida como el cambio de posición respecto al tiempo, en este caso, haciendo énfasis en el movimiento del agua, la velocidad determinará el comportamiento del agua dentro de sistemas de presión en tuberías y en canales abiertos a la atmósfera, cuya magnitud en el sistema internacional es metros por segundo  $m/s$ .

### **1.3.9. Área transversal**

Valor numérico del área de la cara de un sólido al cortarlo en alguna de sus partes, cuya unidad en el sistema internacional son los metros al cuadrado  $m^2$ .

### **1.3.10. Caudal volumétrico**

El caudal volumétrico o tasa de flujo de fluidos es el volumen de fluido que pasa por una superficie dada en un tiempo determinado, usualmente representado con la letra Q, cuya unidad en el sistema internacional son los metros cúbicos por minuto  $m^3/min$ .

### **1.3.11. Dureza del agua**

Según Pedro Bahamondes, en su libro *Alimentación de calderas*, la dureza del agua está determinada por la cantidad de sales de calcio y magnesio que contenga. Mientras más sales de calcio y magnesio tengan, mayor será su dureza, generalmente su unidad son las partículas por millón ppm, equivalente a miligramo por litro mg/l.

#### **1.3.11.1. Dureza temporal**

Según Pedro Bahamondes, en su libro *Alimentación de calderas*, la dureza temporal, también llamada dureza de carbonatos, es causada por la combinación de carbonatos de calcio y magnesio con dióxido de carbono para formar bicarbonatos de calcio y de magnesio. Se llama así, porque la mayoría de los carbonatos se precipitan cuando el agua es hervida, sacando el dióxido de carbono, dejando los carbonatos que son insolubles.

#### **1.3.11.2. Dureza permanente**

Según Pedro Bahamondes, en su libro *Alimentación de calderas*, la dureza permanente, también llamada dureza de no carbonatos, está formada por sales solubles en el agua. Durante la ebullición no sufren cambios, pero a medida que

esta se evapora sufre el grado de concentración decantando y formando incrustaciones.

#### **1.3.12. pH**

Se define como el grado de alcalinidad o acidez del agua, medido con el fin de evitar la corrosión en las tuberías y equipos de cuerpo metálico.

#### **1.3.13. Impurezas en el agua**

Las impurezas se pueden definir como todos aquellos elementos líquidos, gaseosos y sólidos que no constituyen parte de la fórmula original del agua, entre ellas están las sales disueltas, sólidos en suspensión y gases disueltos.

#### **1.3.14. Agua suavizada**

Es aquella agua, que, mediante un proceso se ha eliminado la dureza sales de calcio y magnesio con el fin de evitar incrustaciones en los equipos.

#### **1.3.15. Intercambio iónico**

Es un proceso de separación de iones. Un ion es un átomo o grupo de átomos cargados eléctricamente. Los iones cargados positivamente son llamados cationes, ya que estos emigran al cátodo o electrodo negativo. Los iones cargados negativamente son llamados aniones, porque emigran al ánodo o electrodo positivo en una celda galvánica.

### **1.3.16. Bombas hidráulicas**

Máquina generadora que transforma la energía mecánica producida por el movimiento de un eje, transmitida hacia un impulsor en el cual fluye un líquido incompresible y transforma esa energía mecánica en energía hidráulica, ideal para impulsar fluidos a grandes alturas y largas distancias.

#### **1.3.16.1. Bombas centrífugas**

Las bombas centrífugas son siempre rotativas y son un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor en energía cinética o de presión de un fluido incompresible.

#### **1.3.16.2. Bombas sumergibles**

Es una bomba hidráulica que tiene un impulsor sellado a la carcasa. El conjunto se sumerge en el líquido a bombear. La ventaja en este tipo de bomba es que puede proporcionar una fuerza de elevación significativa, pues no depende de la presión de aire externa para ascender el líquido.

#### **1.3.16.3. Cebado de bomba**

El cebado de la bomba consiste en llenar de líquido la tubería de aspiración succión y carcasa de la bomba, para eliminar las bolsas de aire interna y facilitar la succión del líquido.

### **1.3.17. Tubería**

Conducto formado por tubos que sirve para distribuir líquidos o gases. Las tuberías de agua son tuberías que se compran de distintos materiales y diámetros según los requerimientos de cada industria, las tuberías de agua industrial, principalmente, deben soportar valores de presión, temperatura y tener revestimiento de zinc, si fuese necesario que la tubería no se oxide.

#### **1.3.17.1. Coeficiente de rugosidad de Hazen y Williams**

Coeficiente nombrado con la letra C, utilizado para el cálculo de pérdida de energía en la ecuación de Hazen y Williams, este coeficiente indica el grado de rugosidad de la tubería por la que fluye el fluido, dependiendo del tipo de material y su construcción.

#### **1.3.17.2. Factor de fricción de Darcy-Weisbach**

El factor de fricción o coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach es un parámetro adimensional que se utiliza en dinámica de fluidos para calcular la pérdida de carga en una tubería debido a la fricción.

### **1.3.18. Sistema de tuberías en serie**

Es un conjunto de tuberías conectadas una a continuación de la otra, las cuales comparten el mismo caudal, sin embargo, la pérdida de energía es variante en la longitud de ellas y la pérdida de energía total es la sumatoria de la pérdida en cada una de las tuberías.

### **1.3.19. Sistema de tuberías en paralelo**

Es un conjunto de tuberías conectadas en un mismo nodo y terminadas en otro mismo nodo, en las cuales el caudal total es la sumatoria de los diferentes caudales que fluyen en cada una de las tuberías y la pérdida de energía es la misma en todas de extremo a extremo.

### **1.3.20. Materiales comunes para tuberías de redes de agua suavizada**

Los materiales utilizados para la tubería de agua suavizada, generalmente está determinada por la presión del sistema, la calidad de agua que se maneje en el sistema y la industria en donde se utilice, estos materiales pueden ser desde PVC para sistemas de baja y media presión y calidad de agua con alta dureza para ser reemplazadas fácilmente y con bajo costo; y tuberías de hierro para altas presiones y calidad de agua con dureza casi nula, asegurando la casi inexistencia de incrustaciones y acero galvanizado cuando la industria requiere de agua libre de contaminantes para los procesos, aunque requiera de mayor inversión monetaria.

### **1.3.21. Suavizadores de agua**

El suavizador de agua, también llamado descalcificador o ablandador de agua, es un aparato que, por medios mecánicos o químicos trata el agua para reducir el contenido de sales, minerales y sus incrustaciones en tuberías y depósitos de agua. En este caso se tratarán los suavizadores de resina catiónica.

### **1.3.22. Redes de distribución de agua suavizada**

Conjunto de pozos, tuberías, equipos hidráulicos y suavizadores de agua, los cuales trabajan en conjunto para conducir agua suavizada a un determinado lugar o a una determinada máquina que lo necesite para un proceso.

### **1.3.23. Sistemas cerrados**

Son aquellas redes de distribución de agua, las cuales están formadas por un conjunto de tuberías en paralelo, conectadas entre sí y todas unidas por nodos, cuya característica principal de estas redes es la capacidad de mantener una presión muchísimo más estable, ya que habrá menor pérdida de energía entre los tramos de la red.

### **1.3.24. Sistemas abiertos**

Son aquellas redes de distribución de agua, las cuales están formadas por un conjunto de tuberías en serie, donde la caída de presión se da a lo largo de toda la línea.

### **1.3.25. Accesorios para tubería de agua**

Los accesorios para las redes de agua están compuestas por válvulas, codos, uniones, filtros, entre otros; todos estos accesorios tienen su uso específico y construcción bajo normas internacionales, por lo cual se debe seleccionar el accesorio adecuado por diámetro, uso, material y resistencia. Cabe resaltar que son los causantes de las pérdidas de energía menores o localizadas.

### **1.3.26. Instrumentación**

Es el grupo de elementos que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables de un proceso con el fin de optimizar los recursos utilizados en este. El conocimiento de la correcta aplicación de los equipos encaminados para apoyar al usuario a la medición, regulación, observación, transformación, de una variable dada en un proceso productivo.

### **1.3.27. Distribución de agua suavizada**

Las redes de agua suavizada, generalmente constan de cinco secciones trabajando en conjunto, con el fin de garantizar con el abastecimiento de la demanda de agua tratada en la maquinaria para los procesos productivos.

#### **1.3.27.1. Pozo**

Excavación vertical que se perfora en la tierra hasta una profundidad suficiente para alcanzar lo que se busca, sea la reserva de agua subterránea de una capa freática o fluidos como el petróleo. Construidos con desarrollo y forma cilíndrica, en la mayoría de los casos, suelen asegurar sus paredes con ladrillos, piedra, cemento o madera, para evitar su deterioro y derrumbe. De él se puede extraer una gran cantidad de agua mediante la succión por una bomba sumergible conectada a la tubería de una red de agua.

#### **1.3.27.2. Suavizadores de agua**

Los suavizadores o ablandadores de agua o intercambio iónico son equipos utilizados para remover las sales de calcio y magnesio presentes en el agua. Dichas sales son las causantes de problemas como incrustaciones en tuberías y

calderas, exceso de gasto en detergentes, además de manchas en lavados y otros artículos en una industria textil. El agua dura requiere una excesiva cantidad de jabón para producir espuma. La entrada de los suavizadores está, generalmente conectada a la salida de la tubería de los pozos.

#### **1.4. Diagnóstico de red de agua suavizada actual**

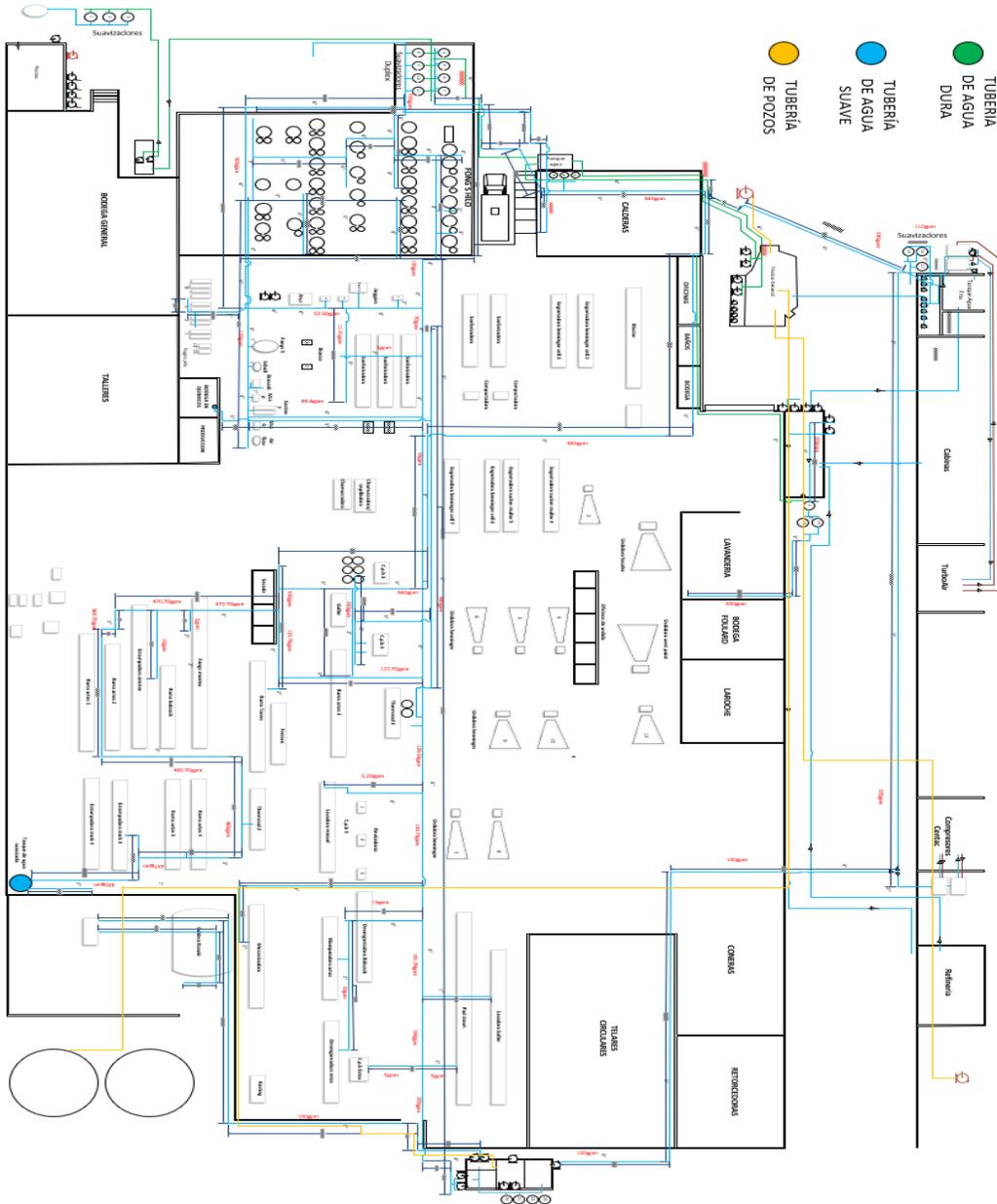
Este diagnóstico tiene el propósito de localizar los problemas e ineficiencias, desde el trazado de un plano, el cual mostrará el orden de la red o si tiene una mala distribución, hasta cálculos de valores de energías que determinarán si la red es óptima hoy en día.

##### **1.4.1. Plano de red actual**

La red de agua suavizada en la planta de preparación y teñido se alimenta de tres pozos (1, 3, 6), cabe resaltar que el caudal total de agua que se extrae de estos tres pozos, no es exclusivo para ser suavizado; el agua cae en tres tanques los cuales son: piscina general, llenada por los tres pozos y captación de agua de lluvia; pileta trasera, llenada únicamente por el pozo 3 y retorno de agua de maquinaria del área de preparación y, por último, el tanque de lavandería, el cual es llenado en parte por agua de la piscina general, retorno de agua de cabinas y retorno de agua de la refinería.

En la figura 2 se muestra el plano del sistema de red de agua suavizada. Las líneas verdes identifican las tuberías donde fluye agua dura, las líneas celestes donde fluye agua suave y las amarillas identifican la tubería saliente de los pozos.

Figura 2. Plano de red de agua suavizada, planta 2, Tennat, S. A.



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

## **1.5. Equipos actuales en funcionamiento que conforman la red de agua suavizada**

A continuación, se describen los equipos que se utilizan actualmente en la planta de preparación y teñido para el suministro de agua. Se incluyen las bombas para suministro de agua fría y agua caliente, ya que, en caso de alta demanda de agua suave, se puede contar con la ayuda de estas bombas abriendo y cerrando algunas válvulas para su funcionamiento en la red de suavizado.

### **1.5.1. Pozos**

En la tabla I se muestra la información disponible sobre los motores y bombas utilizados para la extracción de agua.

Tabla I. **Información de equipo utilizado para extracción de agua de los pozos utilizados en planta 2**

<b>Pozo No.</b>	<b>Tipo de bomba</b>	<b>Potencia de motor</b>	<b>Caudal disponible</b>	<b>Cantidad de etapas</b>
1	Sumergible	40 hp	No hay info.	6
3	Sumergible	40 hp	No hay info.	6
6	Sumergible	40 hp	No hay info.	6

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

### **1.5.2. Suavizadores de agua en funcionamiento para planta 2**

En la tabla II se muestran los suavizadores de agua en funcionamiento para planta 2, cabe recalcar que: en la sección de marca de suavizadores, estarán las

celdas vacías debido a que muchos de los suavizadores fueron hechos en la empresa.

Tabla II. **Información de suavizadores de agua en funcionamiento para planta 2**

Suavizador No.	Marca	Volumen de resina c-100, pie <sup>3</sup>
1	Sin marca, elaborados por la empresa para calderas	20
2		20
3		20
4	Zozen Boiler	20
5		20
6		20
7		20
8		20
9		20
10		20
11		20
12	Dúplex planta 2	20
13		20
14		20
15	Sin marca, elaborados por la empresa para calderas Cleaver Brooks	20
16		20
17		20
18	Hechizos Cabinas	10
19		10
20	Sin marca, elaborados por la empresa para área de Lavandería	10
21		20
22		20
23		20

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

### 1.5.3. Bombas hidráulicas para impulsión de agua hacia la planta de preparación y teñido

En la tabla III se muestra la información disponible de las bombas hidráulicas que alimentan de agua dura, agua caliente y agua suavizada la planta de preparación y teñido, las filas de color verde indican las bombas que distribuyen agua a los suavizadores de agua y a la red principal de tuberías de agua suavizada.

Tabla III. Especificaciones de las bombas centrífugas utilizadas para el suministro de agua en planta 2

Bomba No.	Q gpm	TDH pie	$\phi$ impulsor pulg	Potencia hp	RPM	Eficiencia %
0	400	140	7,25	25	3 500	88,5
1	450		7,4	30	2925	88,5
2	400	140	6	20	3 500	88
3	400	140	6	20	3 500	88
4	400	140	6	20	3 500	88
5	400	-	6,5	20	3 470	-
6	400	-	-	-	-	-
7	400	-	-	-	-	-
8	225	170	6,94	15	3 500	89,5
9	225	170	6,94	15	3 500	89,5
10	250	162	6,4	15	3 500	89,5
11	250	162	6,4	15	3 500	89,5
12	200	170	6,43	15	3 500	89,5
13	200	170	6,43	15	3 500	89,5
14	-	-	-	-	-	-
15	425	125	6,31	20	3 545	91
16	425	125	6,31	20	3 525	90,2
17	425	125	6,31	20	35 225	90,2
18	400	140	6,09	20	3 510	91
19	425	-	6,375	20	3 470	88,5
20	40	140	6,09	20	3 510	91
21	200	172	6,82	15	3 500	89,5
22	200	172	6,82	15	3 500	89,5

Continuación de la tabla III.

23	225	-	6,375	20	3 500	-
24	225	-	6,82	20	3 500	-
25	225	-	6,05	20	3 500	-
26	225	-	6,82	20	3 500	-
27	200	140	5,94	10	3 500	88,5
28	200	140	5,94	10	3 500	88,5
29	400	-	6,375	25	3 500	-
30	200	-	6,375	25	3 500	-
31	200	-	6,05	15	3 500	-
32	140	-	6,82	30	3 500	-
33	140	-	6,05	15	3 500	-
34	200	-	6,72	20	3 500	-
35	150	-	6,72	15	3 500	-
36	150	-	6,72	20	3 500	-
37	100	200	6,72	10	3 500	88,5
38	100	200	6,72	10	3 500	88,5
39	100	200	6,72	10	3 500	88,5
40	F/S	-	-	-	-	-

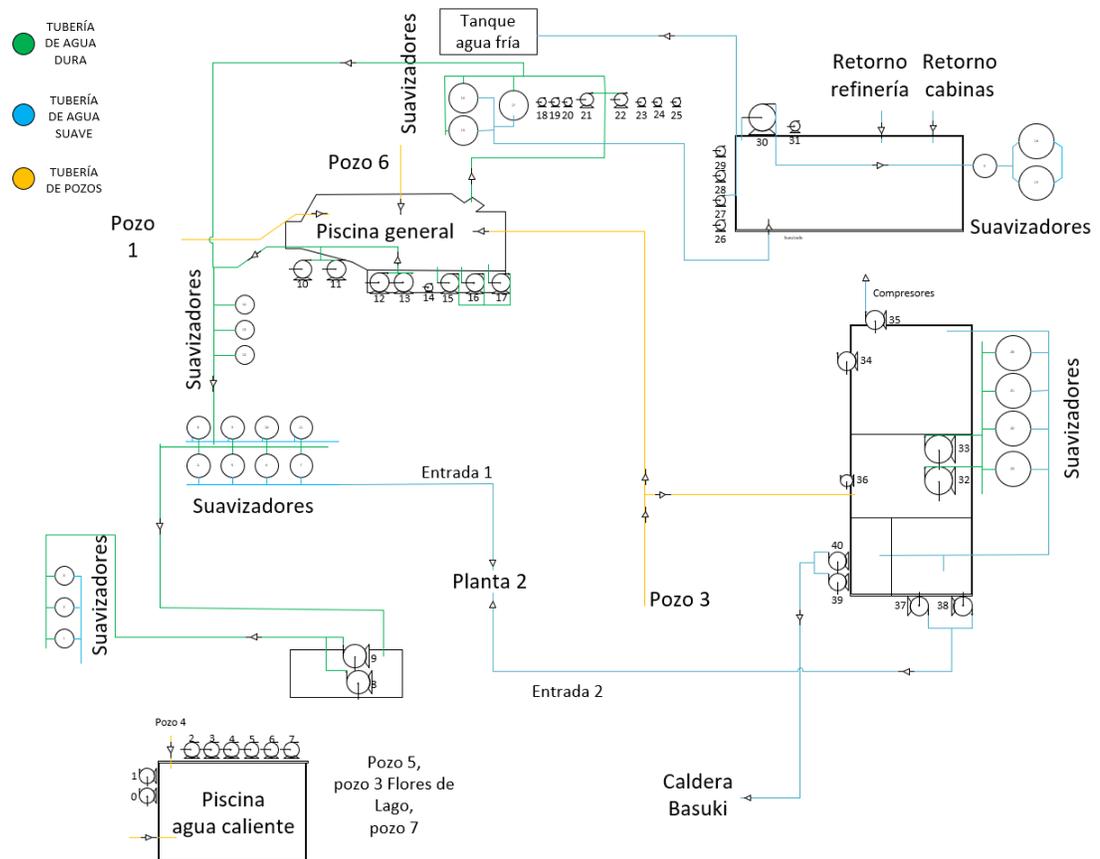
Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

#### **1.5.4. Determinación del caudal de agua suavizada disponible y la presión de trabajo de las bombas centrífugas actual en planta 2**

Para establecer el siguiente valor de caudal y de presión, a la cual el sistema de bombas está trabajando, según los requerimientos de la maquinaria de la planta de preparación y teñido; hubo búsqueda de manuales de las bombas, revisión de las placas de las bombas, se aforaron muchas de las bombas que carecían de placa y marca, bombas que han sido rebobinadas, luego se tomó lectura de diferentes manómetros en distintos puntos para evaluar la presión de trabajo.

De la tabla II antes descrita, la suma de algunos caudales y analizando el siguiente diagrama de la figura 3, se determina el caudal de agua suave en las líneas de agua suavizada.

Figura 3. **Diagrama de distribución de bombas, suavizadores y tuberías principales de distribución de agua suave**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

#### 1.5.4.1. Caudal de agua suave para suavizadores

En la tabla IV se muestra el número de bomba, la presión de trabajo de las bombas y el caudal de descarga del conjunto de bombas para alimentar los suavizadores de agua que se localizan en la figura 3.

Tabla IV. **Caudal por sección y caudal total de agua suave disponible para planta 2, Tennat, S. A.**

Sección	Bombas involucradas	Presión de trabajo	Caudal disponible gpm	Caudal disponible m <sup>3</sup> /s
Suavizadores Dúplex	10,11,12,13,21,22	60 psi	1 087	0,0823
Suavizadores cabinas	21,22	60 psi	160	0,012
Suavizadoras calderas Clevar Brooks	10,11,12,13,21,22	60 psi	80	0,006
Suavizadoras calderas Zozen	8,9	60 psi	450	0,034
Suavizadores lavandería	30	80 psi	200	0,015
Suavizadores piscina trasera	32, 33	60 psi	280	0,021
<b>Caudal disponible de agua suave</b>			<b>2 257</b>	<b>0,1841</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

#### 1.5.4.2. Caudal de agua suave por secciones

En tabla V se describen los valores de caudales disponible en las diferentes secciones que se muestran en la figura 3.

Tabla V. **Caudal de agua suave por secciones**

Sección	Bomba de suministro	Caudal GPM	Caudal disponible m <sup>3</sup> /s
Entrada 1, planta 2	10,11,12,13,21,22	725	0,0549
Entrada 2, planta 2	10,11,12,13,21,22	362	0,0274
Entrada 3, planta 2	37, 38	200	0,015
<b>Total caudal disponible para planta 2</b>		1 287	0,0973
Compresores	35	150	0,011

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

#### 1.5.5. **Cálculo de costo de energía eléctrica generada por las bombas hidráulicas**

En las tablas VI y VII se muestra el conjunto de bombas y la potencia del motor eléctrico de estas y posterior habrá un ejemplo del cálculo del costo de la energía eléctrica consumida por la potencia de todas las bombas, y las bombas específicas para la distribución de agua suave que se detallan en la tabla V. Las bombas se dividieron en dos partes para facilidad del cálculo, en 12 horas de trabajo, tabla VI y en 24 horas de trabajo, tabla VII. De igual forma se muestra de otro color las filas para las bombas específicas para la distribución de agua suave en la planta 2.

Tabla VI. **Energía eléctrica consumida por motores de las bombas hidráulicas de planta 2 para 12 horas de uso**

No.	Potencia hp	Potencia kwh	Horas al día encendida
0	25	18,65	24
1	30	22,38	24
2	20	14,92	24
3	20	14,92	24
4	20	14,92	24
5	20	14,92	24
8	15	11,19	24
9	15	11,19	24
10	15	11,19	24
11	15	11,19	24
12	15	11,19	24
13	15	11,19	24
15	20	14,92	24
16	20	14,92	24
17	20	14,92	24
18	20	14,92	24
19	20	14,92	24
20	20	14,92	24
21	15	11,19	24
22	15	11,19	24
26	20	14,92	24
28	10	7,46	24
29	25	18,65	24
34	20	14,92	24
35	15	11,19	24
36	20	14,92	24

Continuación de la tabla VI.

37	10	7,46	24
38	10	7,46	24
39	20	14,92	24
40	20	14,92	24
<b>Suma de kw por todas las bombas = 406,57</b>			
<b>Suma kw por bombas para suavizado = 164,12</b>			

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Tabla VII. **Energía eléctrica consumida por motores de las bombas hidráulicas de planta 2 para 12 horas de uso**

No.	Potencia hp	Potencia kwh	Horas al día encendida
25	20	14,92	12
30	25	18,65	12
31	15	11,19	12
32	30	22,38	12
33	15	11,19	12
<b>Suma de kw por todas las bombas = 78,33</b>			
<b>Suma kw por bombas para suavizado = 52,22</b>			

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Para el cálculo del costo de la energía total consumida de las bombas, se tomará en cuenta lo siguiente:

Un caballo de fuerza hp es equivalente a 0,746 kw

El costo de la energía eléctrica en la empresa es de 0,77 Q/kwh

El kilowatt hora, kwh es la energía consumida en una hora de uso de cada bomba, la ecuación de la energía es la siguiente:

$$\text{Energía} = (\text{potencia})(\text{tiempo})$$

El tiempo utilizado es el tiempo de trabajo de las bombas por día. Todos los valores utilizados en el desarrollo del cálculo son tomados de la tabla VI.

El costo de la energía eléctrica para todas las bombas se obtiene como se describe en los siguientes apartados.

#### **1.5.5.1. Para todas las bombas hidráulicas de 24 horas de uso**

$$\text{Energía consumida en una hora} = 406,57 \text{ kwh}$$

$$\text{Costo por hora} = (406,57 \text{ kwh}) \left( 0,77 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} \right) = 313,06 \text{ Q}; \text{ Q} = \text{quetzales}$$

$$\text{Costo por mes} = (313,06 \text{ Q})(720 \text{ hrs}) = 225 403,2 \text{ Q}$$

$$\text{Costo por año} = (313,06 \text{ Q})(8760 \text{ hrs}) = 2 742 405,6 \text{ Q}$$

#### **1.5.5.2. Para todas las bombas hidráulicas de 12 horas de uso**

$$\text{Energía consumida en una hora} = 78,33 \text{ kwh}$$

$$\text{Costo por hora} = (78,33 \text{ kwh}) \left( 0,77 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} \right) = 60,31 \text{ Q}$$

$$\text{Costo por mes} = (60,31 \text{ Q})(360 \text{ hrs}) = 21 711,6 \text{ Q}$$

$$\text{Costo por año} = (60,31 \text{ Q})(4 380 \text{ hrs}) = 264 157,8 \text{ Q}$$

$$\text{Costo total de energía eléctrica por uso de todas las bomba por año}$$

$$= 2 742 405,6 \text{ Q} + 264 157,8 \text{ Q} = 3 006 563,4 \text{ Q}$$

### 1.5.5.3. Para todas las bombas hidráulicas para suavizado horas

Energía consumida en una hora = 216,34 kwh

$$\text{Costo por hora} = (216,34 \text{ kwh}) \left(0,77 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}}\right) = 166,58 \text{ Q}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo por mes} &= (164,12 \text{ kwh}) \left(\frac{0,77 \text{ Q}}{\text{kwh}}\right) (720 \text{ hrs}) + (52,22) \left(\frac{0,77 \text{ Q}}{\text{kwh}}\right) (360) \\ &= 105\,463,51 \text{ Q} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Costo por año} &= (164,12 \text{ Q}) \left(\frac{0,77 \text{ Q}}{\text{kwh}}\right) (8\,760 \text{ hrs}) + (52,22 \text{ Q}) \left(\frac{0,77 \text{ Q}}{\text{kwh}}\right) (4\,380 \text{ hrs}) \\ &= 1\,283\,139,60 \text{ Q} \end{aligned}$$

## 1.6. Consumo de agua suave en planta 2, preparación y teñido

Para determinar el consumo o demanda de agua suave dentro de la planta de preparación y teñido, se realizó un estudio de consumo con flujómetros en galones por días, estudio realizado por secciones. Debido a falta de instrumentación y de recursos no fue posible medir directamente la demanda de agua suave por máquina, así que para cálculos posteriores se buscará cumplir con la demanda de todas las secciones, más un factor de seguridad por futuras expansiones y para asegurar el caudal de agua que se necesite dentro de la tubería y entrada de la maquinaria.

En la tabla VIII se muestra el consumo de agua total en la planta de preparación y teñido, por lo que se separará el agua dura del agua suave. Para cálculos posteriores se utilizarán los datos que hagan referencia a agua suavizada.

Tabla VIII. Consumo de agua de la maquinaria de planta 2

Tipo maquinaria	Equipos	Volumen de agua suave gpm	Volumen disponible m <sup>3</sup> /s
Teñidoras de hilo, agotamiento	18 fongs	150	0,0157725
Teñidoras de tela, agotamiento	20 jets	150	0,0157725
Teñidora de índigo	Máster	12	0,0025236
Teñidoras de tela, continuo	3 <i>cold pad batch</i>	15	0,001419
	2 Thermosol	15	0,002839
	<i>pad steam</i>	11	0,001261
Preparación de tela	2 Desengomadora	10	0,000946
	Blanqueadora	17	0,001892
	Mercerizadora	60	0,003785
	Lavadora	15	0,001261
Ramas	8 ramas	35	0,002208
Compresores	Enfriamientos compresores	100	0,00630902
Calderas	Calderas Cleaver Brooks	150	0,00946353
<b>Totales</b>		<b>740</b>	<b>0,049679</b>

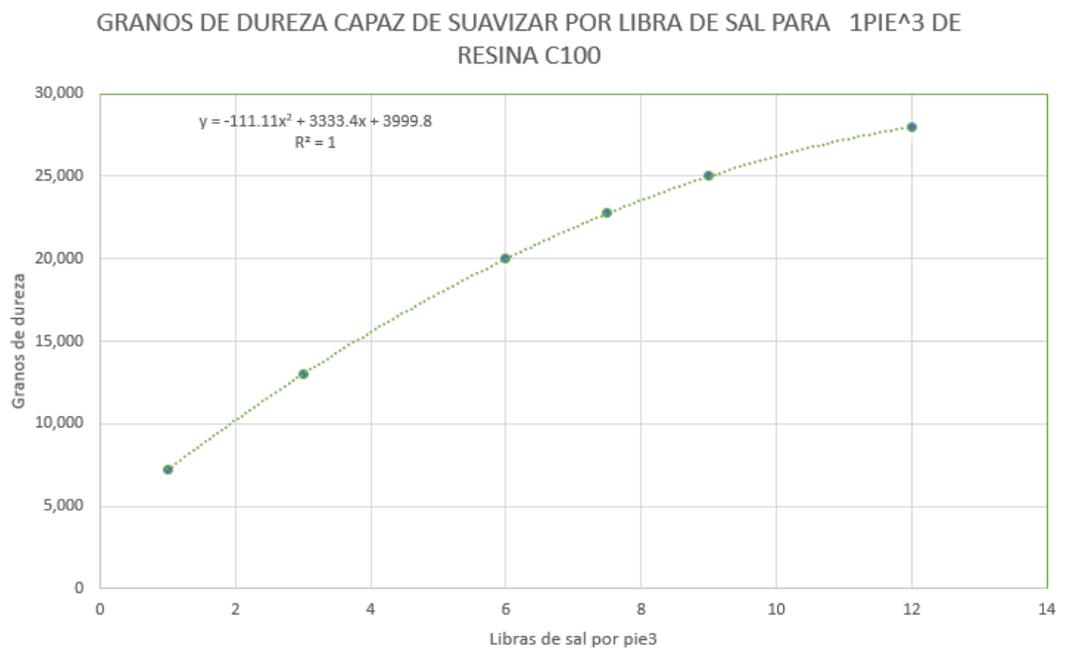
Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

### 1.7. Capacidad de suavizado por volumen de resina catiónica y tiempos de regeneración de resina con sal en la planta de preparación y teñido

La capacidad de suavizado de agua para un ablandador que trabaja con resina catiónica C100, se mide por granos de dureza. La resina debe llenarse de sal para realizar el intercambio catiónico al entrar en contacto con el agua, por lo que se debe ingresar salmuera a los suavizadores de agua, a este proceso se le conoce como regeneración. La figura 4 muestra los granos de dureza capaz de

suavizar en función de las libras de sal que se utilice en la regeneración en un pie cúbico de resina C100.

Figura 4. **Gráfico, libras de sal por pie<sup>3</sup> versus granos de dureza**

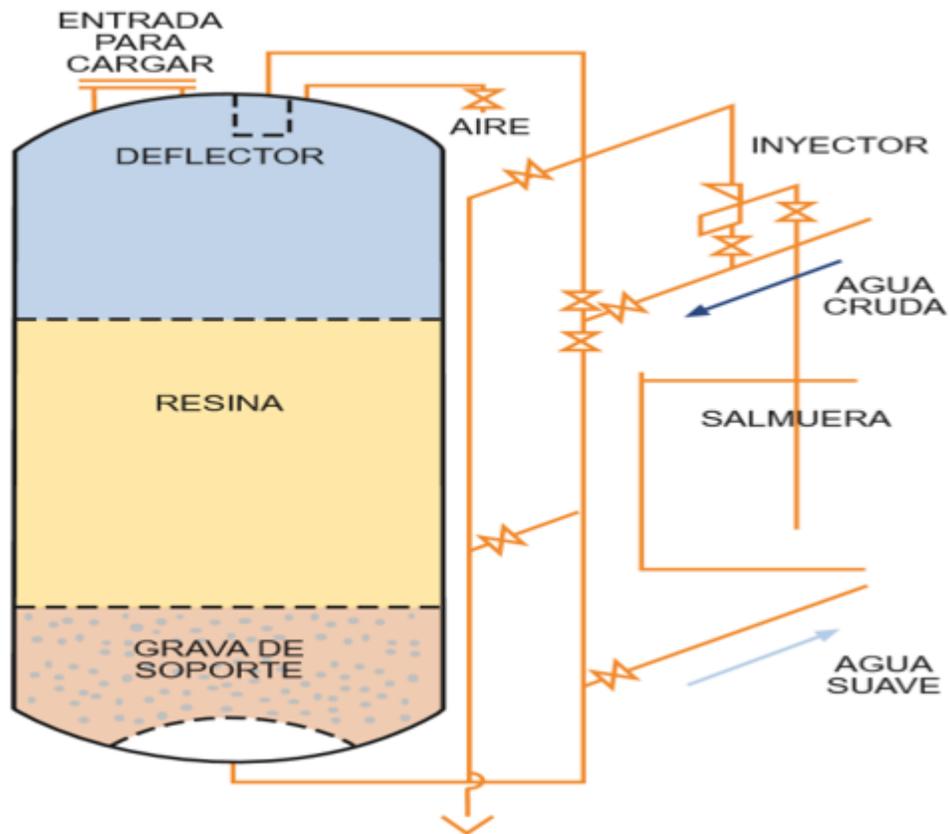


Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Los suavizadores que trabajan para la planta 2, preparación y teñido de la empresa donde se realiza el proyecto, trabajan las 24 horas del día, algunos se alternan con otros mientras se hacen los procesos de regeneración y lavado.

A continuación, en la figura 5 se muestra un esquema de la forma de trabajo de los suavizadores y algunos insumos importantes para determinar la capacidad de suavizado y costos de este servicio.

Figura 5. Disposición de un suavizador de agua



Fuente: BAHAMONTES, Pedro. *Aguas de alimentación de calderas*. p. 13.

### 1.7.1. Insumos

Todos aquellos productos necesarios para suavizar el agua.

### 1.7.1.1. Calidad de agua

La calidad del agua en esta zona es peculiarmente mala, su dureza es bastante alta. A continuación, los valores de dureza de las principales piscinas de extracción de agua y pozos para la planta 2.

- Dureza pozo 1: 138 ppm
- Dureza pozo 3: 145 ppm
- Dureza pozo 6: 145 ppm
- Dureza entrada suavizadores Dúplex: 110 ppm
- Dureza piscina general: 150 ppm
- Dureza piscina para lavandería: 120 ppm
- Dureza piscina para calderas Zozen Boilers: 40 ppm
- Dureza piscina para caldera Basuki y compresores: 80 ppm

### 1.7.1.2. Flujo entrante actual para suavizadores

El flujo de agua que alimenta a los distintos suavizadores se muestra detallado para cada suavizador en la tabla IX.

Tabla IX. Flujo de agua a través de suavizadores

No. suavizador	Área	Flujo gpm
1	Calderas Zozen Boiler	150
2	Calderas Zozen Boiler	150
3	Calderas Zozen Boiler	150
4	Dúplex	30-150
5	Dúplex	30-150
6	Dúplex	30-150
7	Dúplex	30-150
8	Dúplex	30-150

---

Continuación de la tabla XI.

9	Dúplex	30-150
10	Dúplex	30-150
11	Dúplex	30-150
12	Calderas Cleaver Brooks	180
13	Calderas Cleaver Brooks	180
14	Calderas Cleaver Brooks	180
15	Cabinas	130
16	Cabinas	130
17	Cabinas	130
18	Lavandería	100
19	Lavandería	100
20	Basuki y compresores	140
21	Basuki y compresores	140
22	Basuki y compresores	140
23	Basuki y compresores	140

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

### 1.7.1.3. Preparación actual de salmuera

Actualmente es preparada con 150 lbs de sal para 550 litros de agua, dejando una densidad de la salmuera de 124 gramos de sal por litro de agua. Representados de la siguiente manera.

$$\rho_{\text{salmuera}} = \frac{150 \text{ lb}_{\text{sal}}}{550 \text{ litros}} = 0,27 \frac{\text{lb}_{\text{sal}}}{\text{litro}} = 124 \frac{\text{gramos}}{\text{litro}}$$

### 1.7.1.4. Libras de sal por pie cúbico de resina utilizados actualmente

Existen dos tamaños de suavizadores dentro de la planta de preparación y teñido, suavizadores de 20 pies cúbicos y suavizadores de 10 pies cúbicos, ambos regenerados con la misma fracción de salmuera, es decir, la antes

mencionada en la preparación de salmuera para suavizadores de 20 pies cúbicos y corresponde la mitad para los suavizadores de 10 pies cúbicos.

Las libras de sal por pie cúbico de resina utilizadas actualmente, tendría un valor de 7,5 libras de sal por pie cúbico de resina catiónica C100, equivalente a 22 750 granos de dureza.

$$Y_{\text{sal}} = \frac{150 \text{ lbs}}{20 \text{ pie}^3} = 7,5 \frac{\text{lbs}}{\text{pie}^3}$$

#### **1.7.1.5. Capacidad de suavizado actual**

La capacidad de suavizado actual está medida únicamente en los suavizadores de marca Dúplex, ya que son los únicos automatizados y están programados para 40 000 galones de agua antes de su regeneración, por el contrario, los suavizadores hechizos no poseen ningún medidor con lo que se pueda tener un control, por lo que cada treinta minutos toman medidas de dureza del agua de salida de los suavizadores para monitorear el momento en que deben de ser regenerados. teóricamente ellos tienen la capacidad de suavizado en granos de dureza GD de:

$$\text{Capacidad de suavizadores } 20 \text{ pie}^3 = 20 \text{ pie}^3 * 22\,750 \text{ GD} = 455\,000 \text{ GD}$$

$$\text{Capacidad de suavizadores } 10 \text{ pie}^3 = 10 \text{ pie}^3 * 22\,750 \text{ GD} = 227\,500 \text{ GD}$$

#### **1.7.1.6. Tiempos de regeneración actuales**

Los tiempos de regeneración de los suavizadores es dependiente del flujo de agua entrante a cada uno de ellos y de la calidad del agua, por lo que en

algunos casos es muy variable, más que todo por el flujo que cambia dependiendo el uso de la maquinaria en la planta de preparación y teñido. A continuación, se muestran en la tabla X los tiempos promedio de regeneración de los suavizadores, junto con su capacidad de almacenamiento de resina.

Tabla X. **Tiempos de recuperación por suavizador de agua**

No. suavizador	Área	Volumen de resina pie <sup>3</sup>	Regeneraciones por día
1	Calderas Zozen Boiler	20	1
2	Calderas Zozen Boiler	20	1
3	Calderas Zozen Boiler	20	1
4	Dúplex	20	2
5	Dúplex	20	2
6	Dúplex	20	2
7	Dúplex	20	2
8	Dúplex	20	2
9	Dúplex	20	2
10	Dúplex	20	2
11	Dúplex	20	2
12	Calderas Cleaver Brooks	20	1
13	Calderas Cleaver Brooks	20	1
14	Calderas Cleaver Brooks	20	1
15	Cabinas	10	2
16	Cabinas	10	2
17	Cabinas	10	2
18	Lavandería	20	2
19	Lavandería	20	2
20	Basuki y compresores	20	2
21	Basuki y compresores	20	2
22	Basuki y compresores	20	2
23	Basuki y compresores	20	2
<b>Cantidad total de resina catiónica/regeneración por día</b>	<b>de resina promedio</b>	<b>430</b>	<b>2</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

### 1.8. Costo actual de suavizado de agua

El costo actual del suavizado de agua en la empresa está representado por varios factores, desde consumos de energía, gastos de insumos y mano de obra, los cuales se presentan en la tabla XI.

Tabla XI. Costo anual total para suavizado de agua

Costo de suavizado de agua anual, quetzales			
Descripción	Cant/año	Precio unitario quetzales	Costo total quetzales
Consumo energético de bombas para suavizadores	1,46 Mw/hrs	Q0,77 /kwh	1 283 139,60
Resina catiónica C100 para veintitrés suavizadores	213 pie <sup>3</sup>	Q730 /pie <sup>3</sup>	155 875
Mano de obra para mantenimiento de suavizador, dos personas para mantenimientos de veinte horas a veintitrés suavizadores	920 hrs/persona	Q13,30 /hrs	1 2 047,61
Ocho operadores para veintitrés suavizadores	8 personas	Q5 000	480 000
Químicos reactivos para medición de dureza de agua	12 kits	Q3 200	38 400
Sal industrial para regeneración de suavizadores	2 322 000 lbs	Q0,44 /lb	1 019 207,75
<b>TOTAL</b>			<b>Q2 988 669,96</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

### 1.9. Caída de presión en la red de agua suavizada actual

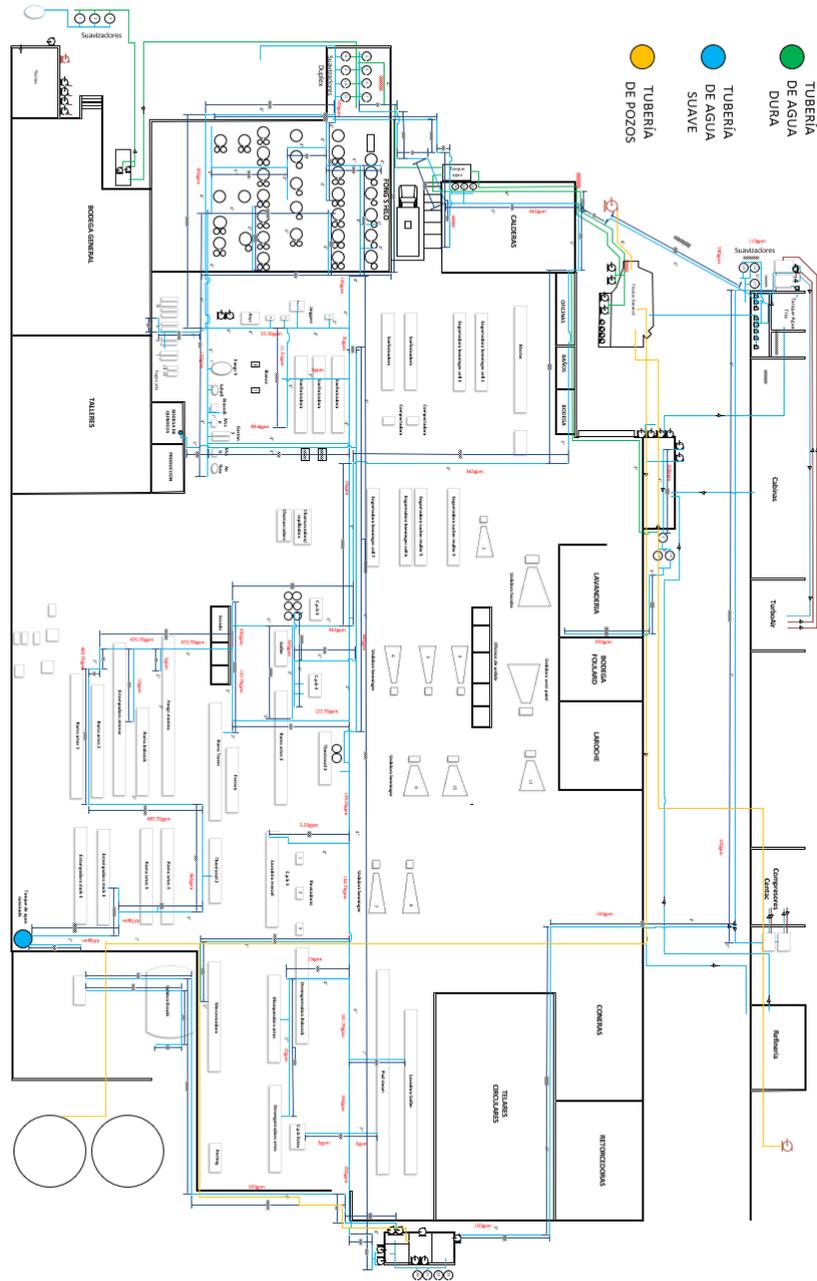
La caída de presión en tuberías de agua no debe pasar del 5 %, si este excede se analiza la razón de tener un exceso de caída de presión, principalmente es causada por un mal estado de la tubería; si en ella hay presente

corrosión, incrustación de minerales; un mal diseño de la red de tuberías es una causa importante, diámetros sobredimensionados o diámetros subdimensionados. Su cálculo y análisis es posible hacerlo con ayuda de ciertas variables que se deben conocer. A continuación, se explica el cálculo para la caída de presión por pérdidas en el sistema de red de agua suavizada.

### **1.9.1. Plano de la red actual de agua suavizada**

El plano de red actual de la línea de agua suave no existía hasta antes de ejecutar el levantamiento, por lo que los diámetros, longitudes y características de la tubería son plasmados en la figura 6, el plano fue elaborado en Microsoft Visio Profesional.

Figura 6. Plano de red de agua suave en planta 2, Tennat, S. A.



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

### 1.9.2. Tubería de conducción y propiedades físicas del fluido

El sistema de tuberías de la red de agua suave en la cual fue llevado este proyecto, como se vio anteriormente, la tubería varía en longitudes y diámetros en lo largo de su recorrido, sin embargo, por costos en el pasado optaron por realizar la red con tubería de acero negro sin costura y con diámetros desde las 2"- 6". Las propiedades de la tubería y propiedades del flujo agua a 20 °C, propiedades necesarias para el cálculo de la caída de presión, las cuales se muestran en las tablas XII y XIII.

Tabla XII. **Rugosidad para tuberías de conducción de fluidos**

Material	Rugosidad $\epsilon$ mm	Valor C Hazen-Williams
Cobre	0,0015	"
Latón	0,0015	"
Acero negro	0,03-0,09	130
Acero estirado	0,0024	110
Fundición	0,0024	80
Polietileno reticulado (PEX)	0,007	140-150
Polipropileno	0,006	140-150
Polibutileno	0,0015	140-150
Multicapa	0,007	140-150

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Tabla XIII. **Propiedades del fluido de la red de agua suavizada**

Agua a 20 °C			
Densidad	Peso específico	Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática
998,29 kg/m <sup>3</sup>	9 783,24 N/m <sup>3</sup>	18,19 X10 <sup>-6</sup> N-s/m <sup>2</sup>	15,10 X10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

### 1.9.3. **Determinación del régimen del flujo**

Es importante conocer el estado del flujo dentro de la tubería para utilizar las ecuaciones y soluciones correctas bajo las condiciones actuales. Para determinar el régimen del flujo dentro de la tubería de agua suave se establecerá el número de Reynolds, con ese valor se determinará el régimen del flujo. Ver apéndice A, para las ecuaciones utilizadas de los distintos regímenes.

$$Re = \frac{v * D}{U}$$

Re: número de Reynolds

V: velocidad del flujo

U: viscosidad

Para el cálculo de la caída de presión en la red, se analizarán las tres entradas de agua por el sistema de bombeo para planta 2, es importante recordar que los sistemas de entrada 1 y 2 son sistemas que mantienen su línea a la mitad de la planta y es independiente, existe *by-pass* cerrado por válvulas, el sistema entrada 3, que alimenta la otra mitad de la planta; posteriormente se cuantifica el número de Reynolds para determinar el régimen del flujo, ya que ese dato

determinará las ecuaciones a utilizar para calcular la caída de presión en el sistema.

**1.9.3.1. Número de Reynolds para tubería de alimentación de entrada 1, planta 2**

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0,0549 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4}(0,1016^2)\text{m}^2} = 6,77 \text{ m/s}$$

$$Re_1 = \frac{(6,77 \text{ m/s})(0,1016)}{15,10 * 10^{-6}} = 4,5 * 10^4; \text{ régimen turbulento}$$

**1.9.3.2. Número de Reynolds para tubería de alimentación de entrada 2, planta 2**

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0,0274 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4}(0,0762^2)\text{m}^2} = 6\text{m/s}$$

$$Re_1 = \frac{(6,77 \text{ m/s})(0,0762)}{15,10 * 10^{-6}} = 3,0 * 10^4; \text{ régimen turbulento}$$

**1.9.3.3. Número de Reynolds para tubería de alimentación de entrada 3, planta 2**

$$V_1 = \frac{Q}{A} = \frac{0,015 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{\pi}{4}(0,1016^2)\text{m}^2} = 1,85 \text{ m/s}$$

$$Re_1 = \frac{\left(\frac{1,85\text{m}}{\text{s}}\right)(0,1016)}{15,10 * 10^{-6}} = 1,2 * 10^4; \text{ régimen turbulento}$$

Los valores de número de Reynolds se mantienen arriba de diez mil, por lo que este régimen en todo el sistema es turbulento.

#### **1.9.4. Cálculo de caída de presión en el sistema de tuberías de agua suave en planta 2**

En los sistemas abiertos de conducción de agua es necesario determinar la ecuación de Bernoulli con las condiciones de cada uno de dichos sistemas, por lo que hay que conocer la velocidad del fluido, altura máxima que este se elevará, determinar la carga por fricción y pérdidas localizadas en el sistema.

##### **1.9.4.1. Determinación de la ecuación de energía para los sistemas abiertos en planta 2**

Para plantear las ecuaciones de los sistemas hay que conocer las variables necesarias para iniciar con los cálculos necesarios de esta sección. Pero primero, utilizando la ecuación de energía, se determinará bajo las condiciones de cada sistema la expresión para la carga que existe en la línea de la tubería.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{\text{bomba}} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \text{CDT}$$

Por lo que, dejando las expresiones de presiones al lado izquierdo y lo demás al lado derecho de la igualdad, se obtiene la siguiente expresión:

$$P_2 - P_1 = \gamma \left[ Z_2 - Z_1 - \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} - \text{CDT} + h_{\text{bomba}} \right]$$

De esta forma se calcula la caída de presión en cada sistema. Evaluando los valores reales que se obtuvieron, se observa que Z1 siempre será el nivel del suelo, así que se le da el valor de cero, ya que será el punto de referencia; las velocidades en ambos puntos ya fueron determinadas, gracias al caudal medido y el diámetro nominal de la tubería.

Ahora solo se calcula la carga dinámica total de la siguiente manera.

$$CDT = H_{\text{fricción}} + H_{\text{menores}} + H_{\text{suavizadores}}$$

$$H_{\text{fricción}} = \frac{10,65(L)(Q)^{1,85}}{(C^{1,85})(D^{4,87})}; \text{ Hazen - Williams}$$

$$H_{\text{menores}} = K \frac{v^2}{2g}; K \text{ varía por cada accesorio}$$

$$H_{\text{suavizadores}} = 15 \text{ psi}$$

La carga dinámica total CDT se define por tres pérdidas de presión en todo sistema hidráulico. pérdidas por fricción: se determinarán calculando los valores por medio de la ecuación de Hazen-Williams; pérdida menores o localizadas: las cuales se determina en función y diámetro de cada accesorio en la línea de tubería. Por último, la pérdida de presión: la cual es la presión que se quiere mantener en el sistema, es decir, se suma como una carga para estar seguro de tener en el sistema entero la mayor presión de trabajo en el conjunto de maquinaria para la producción.

Se continúa el cálculo del valor de las pérdidas menores, se tomó una tabla por todos los accesorios que tiene la tubería y son una gran cantidad de

diferentes fabricantes, materiales, dimensiones. Por lo que se hace bastante largo el cálculo de estos; de acuerdo a textos como, libros, documentos técnicos de fabricantes, manuales de diseño de sistemas hidráulicos, entre otros; se ha determinado que las pérdidas menores, en casos prácticos, se puede estimar un valor entre el 11 al 15 %, en algunos casos hasta el 20 % de la longitud total de la tubería, por lo que se tomará un valor intermedio del 13 % para su estimación. A continuación, se muestra en tabla XIV el total de los accesorios contados en la red distribución de agua. Para realizar el cálculo de pérdidas menores total al final de todos los sistemas.

Tabla XIV. **Accesorios en red de distribución de agua blanda, planta 2**

pulg	Curva 90° R-3D	Curva 90° R-2D	Codo 90°	Te	Válvula de compuerta	Válvula de globo	Válvula cheque	Trampa Y
1				53				
1,25								
1,75								
2			17	83		23		25
2,5								
3	22	31		13	29	28	7	56
3,5								
4	16	14		16	19	13	33	6
4,5								
5	3	5						
6	3						2	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

#### **1.9.4.2. Pérdidas por fricción y menores en sistema de entrada 1**

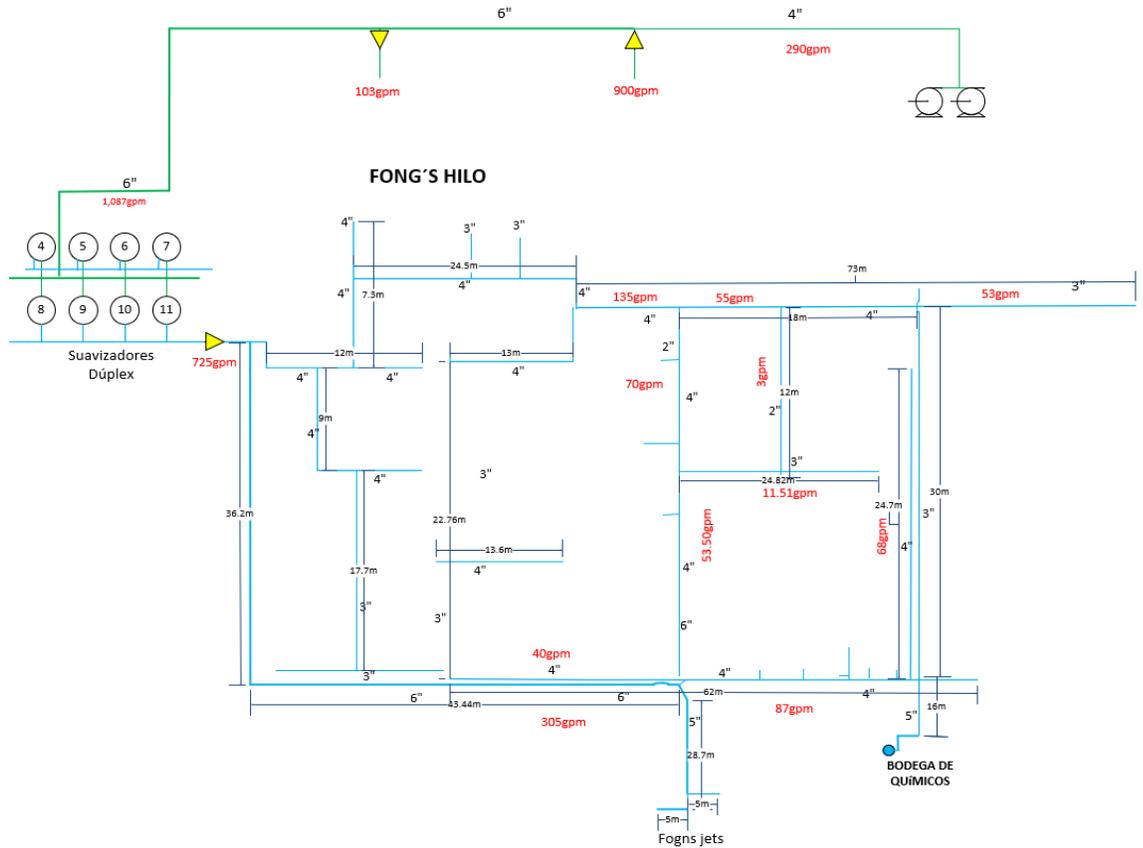
Para cada sistema de tuberías de agua se seccionó por conjunto de equipos, se presenta el diagrama de cada uno de los sistemas acompañado de la información necesaria para determinar la caída de presión en cada uno de ellos. La tubería es de acero negro, el cálculo para la pérdida por fricción y las pérdidas menores se utilizará una tabla realizada en Excel para facilitar el cálculo y evitar errores en la calculadora.

A continuación, se presenta el plano para el sistema número uno en la figura 7, se observan valores de caudales, diámetros de tubería y longitudes. En la tabla XVI se muestran las características del sistema, como presión, velocidades, alturas de estanques, entre otros.

#### **1.9.4.3. Sistema 1**

Este sistema está conformado por la red de distribución hacia el área de hilos y teñido por agotamiento.

Figura 7. Plano del sistema 1 de la red actual



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

Tabla XV. Características del sistema 1 de la red actual

Suministro de agua a suavizadores y bombeo a fongs y jets		
1	Presión en el punto inicial	101 325 pa
2	Velocidad del agua inicial	6,77 m/seg
3	Altura inicial del agua	2,3 m
4	Altura total dinámica de la bomba	60 m
5	Presión en el punto final	X
6	Velocidad del agua final	0,87m/seg
7	Altura final del agua	4,5 m

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Se sustituyen los valores que se tienen en la primera expresión.

$$P_2 = 9\,783,24 \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right) \left[ \frac{101\,325}{9\,783,24} + \frac{\left(6,77 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(0,87 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} + 2,33 - 4,85 + 60 \text{ m} - \text{CDT} \right]$$

Para completar la sustitución en la anterior expresión es necesario calcular la carga dinámica total, se seguirá con el cálculo de dicho valor.

$$\text{CDT} = H_{\text{fricción}} + H_{\text{menores}} + H_{\text{presión}}$$

Se inicia por las pérdidas por fricción con ayuda de la ecuación de Hazen-Williams, como antes se mencionó. La resultante de este valor se definirá como la suma de las pérdidas en cada sección donde varía, ya sea el material de la tubería, el caudal y el diámetro.

$$H_{\text{fricción}} = h_1 + h_2 + h_3 \dots h_n$$

$$H_{\text{fricción}} = \frac{10,65(L_1)(Q_1)^{1,85}}{(C_1^{1,85})(D_1^{4,87})} + \frac{10,65(L_2)(Q_2)^{1,85}}{(C_2^{1,85})(D_2^{4,87})} \dots + \frac{10,65(L_n)(Q_n)^{1,85}}{(C_n^{1,85})(D_n^{4,87})}$$

En tabla XVI se muestra un resumen del cálculo de las pérdidas por fricción presentando una suma al final de todas las pérdidas por cargas.

Tabla XVI. **Pérdidas por fricción para sistema 1 de red actual**

<b>Pérdida por fricción para sistema 1</b>							
<b>No.</b>	<b>Longitud m</b>	<b>Caudal gpm</b>	<b>caudal m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Factor C</b>	<b>Diámetro pulg</b>	<b>Diámetro m</b>	<b>Pérdida m</b>
1	40	290	0,0183	130	4	0,10	2,19
2	25	1190	0,0751	130	6	0,15	2,59
3	45	1087	0,0686	130	6	0,15	3,94
4	52,8	285	0,0180	130	4	0,10	2,80
5	57,7	285	0,0180	130	3	0,08	12,42
6	56,6	40	0,0025	130	4	0,10	0,08
7	22,76	40	0,0025	130	3	0,08	0,13
8	79,64	305	0,0192	130	5	0,13	1,61
9	38,7	218	0,0138	130	3	0,08	5,07
10	61	87	0,0055	130	4	0,10	0,36
11	24,7	68	0,0043	130	4	0,10	0,09
12	20	135	0,0085	130	4	0,10	0,27
13	53	55	0,0035	130	3	0,08	0,54
14	100	76	0,0048	130	3	0,08	1,87
Longitud total del sistema, m							676,90
Total pérdidas por fricción en tubería, m							33,96
Pérdidas menores o localizadas, m							16,92
Pérdida por suavizadores de agua, m							13,30
Total pérdidas, m							64,18
Porcentaje de pérdida respecto longitud total							9,48 %

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Es importante tomar en cuenta ahora las incrustaciones que presentan las tuberías, en ciertos tramos se pudo captar tubería con media pulgada de incrustación en su perímetro interno, por lo que es alrededor de una pulgada de disminución de diámetro en la tubería, es algo a tomar muy en cuenta, ya que la caída de presión aumentará significativamente y será una resistencia sumamente alta, resistencia la cual todas las bombas deberán trabajar para vencer. Por lo tanto, la caída de presión en el sistema es la siguiente.

$$P_2 = \left[ \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 * g} + Z_1 - Z_2 - CDT \right] \gamma$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$P_2 = 9\,783,24 \left( \frac{N}{m^3} \right) \left[ \frac{101\,325}{9\,783,24} + \frac{\left(6,77 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(0,87 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} + 2,33 \text{ m} - 4,85 \text{ m} + 60 \text{ m} - 58,5 \text{ m} \right]$$

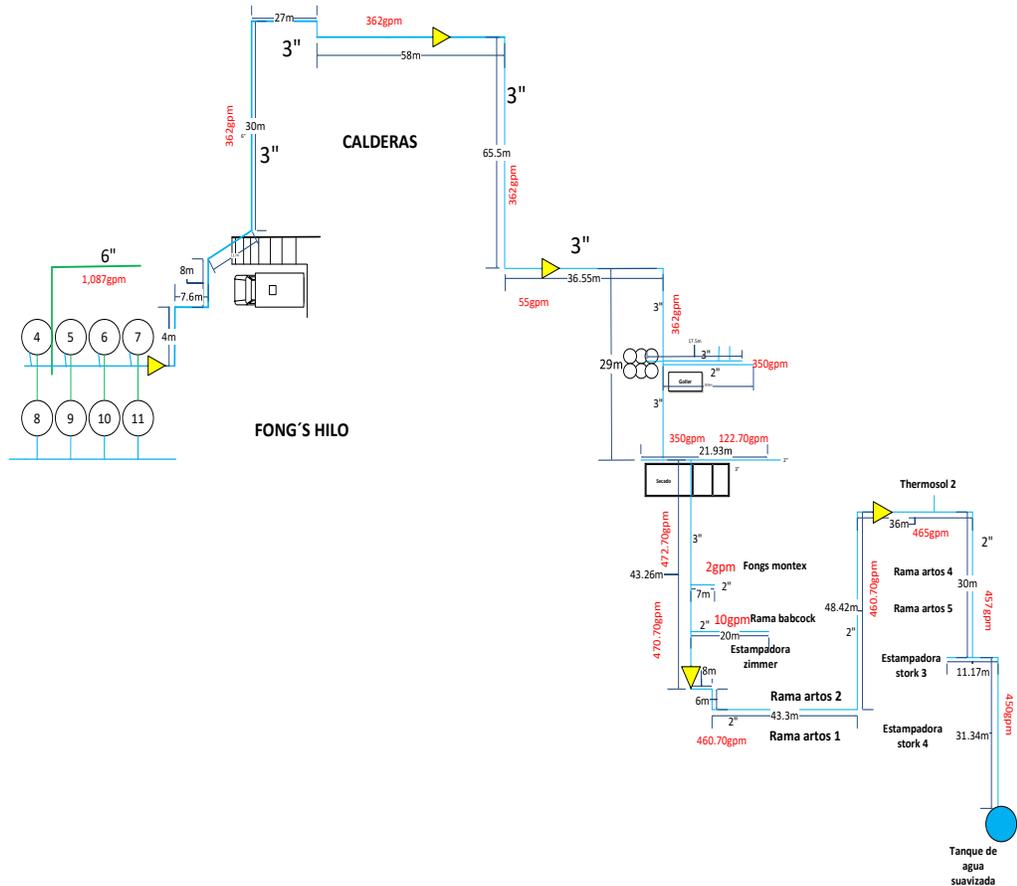
$$P_2 = 58\,276,74 \text{ pascales} = 8,45 \text{ psi}$$

$$\Delta P = 60 \text{ psi} - 8,45 \text{ psi} = 51,55 \text{ psi}$$

#### 1.9.4.4. Sistema 2

Se hará el mismo procedimiento que el sistema 1, pero se resumirán los resultados; sin embargo, el análisis será exactamente igual. A continuación, se presenta el plano para el sistema número dos, en la figura 8 se observan valores de caudales, diámetros de tubería y longitudes. En la tabla XVII se muestran las características del sistema, como presión, velocidades, alturas de estanques, entre otros.

Figura 8. Plano del sistema 2 de la red actual



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

Tabla XVII. Características del sistema dos de la red actual

Suministro de agua suave a cold pad batch y área de ramas		
1	Presión en el punto inicial	330 948 pascales
2	Velocidad del agua inicial	5 m/seg
3	Altura inicial del agua	5 m
4	Altura total dinámica de la bomba	60 m
5	Presión en el punto final	X
6	Velocidad del agua final	13 m/seg
7	Altura final del agua	0 m

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Se comenzará sustituyendo los valores que se tienen en la primera expresión.

$$P_2 = 9\,783,24 \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right) \left[ \frac{330\,948}{9\,783,24} + \frac{\left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(13 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} + 5 \text{ m} + 60 \text{ m} - \text{CDT} \right]$$

Para completar la anterior expresión es necesario calcular la carga dinámica total, por lo que se procederá con el cálculo de dicho valor.

$$\text{CDT} = H_{\text{fricción}} + H_{\text{menores}} + H_{\text{presión}}$$

Se iniciará por las pérdidas por fricción con ayuda de la ecuación de Hazen-Williams, como antes se mencionó. La resultante de este valor se definirá como la suma de las pérdidas en cada sección donde varía, ya sea el material de la tubería, el caudal y el diámetro.

$$H_{\text{fricción}} = h_1 + h_2 + h_3 \dots h_n$$

$$H_{\text{fricción}} = \frac{10,65(L_1)(Q_1)^{1,85}}{(C_1^{1,85})(D_1^{4,87})} + \frac{10,65(L_2)(Q_2)^{1,85}}{(C_2^{1,85})(D_2^{4,87})} \dots + \frac{10,65(L_n)(Q_n)^{1,85}}{(C_n^{1,85})(D_n^{4,87})}$$

Tabla XVIII. Pérdidas por fricción para el sistema 2 de la red actual

Pérdida por fricción para sistema 2							
No.	Longitud m	Caudal gpm	caudal m <sup>3</sup> /s	Factor C	Diámetro pulg	Diámetro m	Pérdida m
1	265,65	362	0,023	130	3,5	0,089	42,00
2	21,93	472,7	0,030	130	3,5	0,089	5,68
3	43,26	472,7	0,030	130	3,5	0,089	11,20
4	7	2	0,000	130	2	0,051	0,00
5	20	10	0,001	130	2	0,051	0,06
6	49,3	460,7	0,029	130	3,5	0,089	12,18
7	48,42	460,7	0,029	130	3,5	0,089	11,96
8	108,51	450	0,028	130	3,5	0,089	25,66
Longitud total del sistema, m							564,07
Total pérdidas por fricción en tubería, m							108,74
Pérdidas menores o localizadas, m							14,10
Pérdida por suavizadores de agua, m							122,84
Total pérdidas, m							21,78 %

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

En tabla XVIII se muestra un resumen del cálculo de las pérdidas por fricción presentando una suma al final de todas las pérdidas por cargas.

En el sistema número tres se logra identificar que el punto final de ella es parte intermedia en la línea del sistema dos, por lo que la presión final del sistema 3 se regulará y adjuntará al sistema dos en ese punto, así se tiene una ganancia de presión y con ella una ganancia de metros para transporte del fluido. Por lo que, las ecuaciones de este sistema se le añadiría lo siguiente.

$$P_2 = \left[ \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 * g} + Z_1 - Z_2 - CDT \right] \gamma$$

$$P_2 = 9\,783,24 \left( \frac{N}{m^3} \right) \left[ \frac{330\,948}{9\,783,24} + \frac{\left( 5 \frac{m}{s} \right)^2 - \left( 13 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \left( 9,81 \frac{m}{s^2} \right)} + 5\,m + 60\,m - 122,84\,m + 22\,m \right]$$

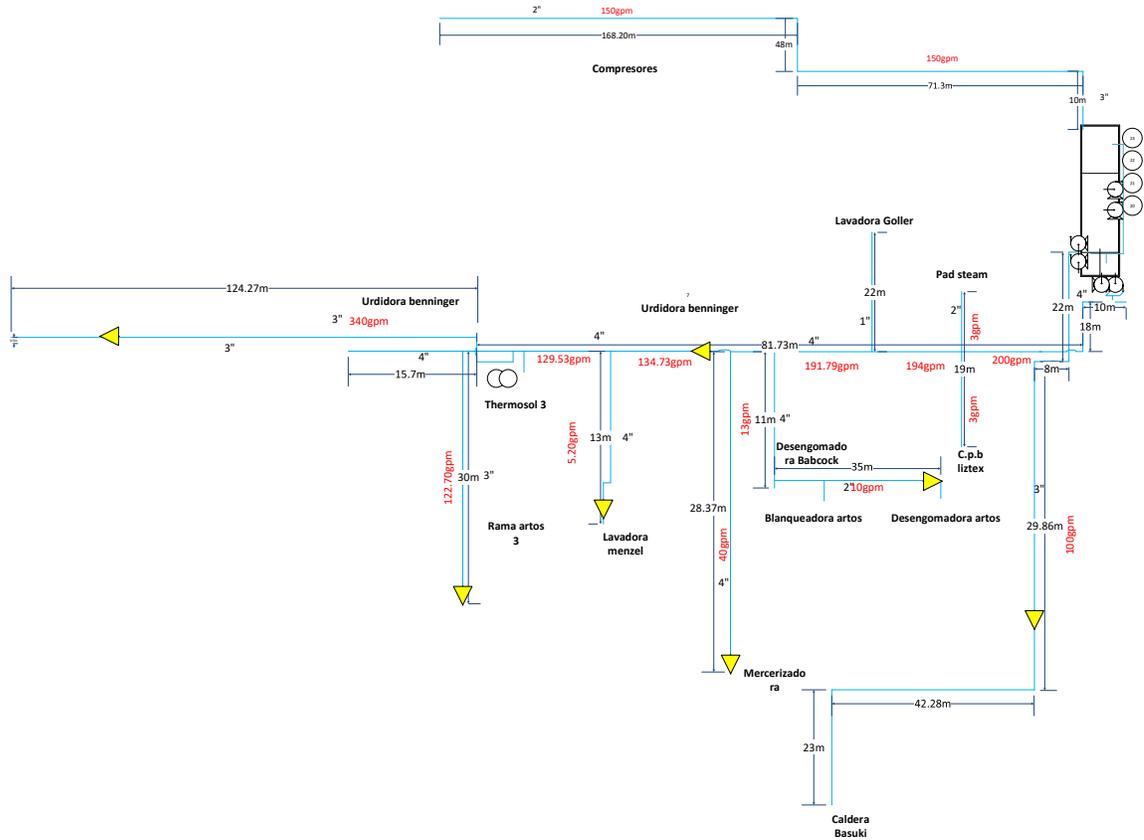
$$P_2 = 46\,383,50 \text{ pascales} = 6,72 \text{ psi}$$

$$\Delta P = 48 \text{ psi} - 6,7 \text{ psi} = 41,3 \text{ psi}$$

#### **1.9.4.5. Sistema 3**

A continuación, se presenta el plano para el sistema número uno, en la figura 9 se observan valores de caudales, diámetros de tubería y longitudes. En la tabla XIX se muestran las características del sistema, como presión, velocidades, alturas de estanques, entre otros.

Figura 9. Plano del sistema 3 de la red actual



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2019.

Tabla XIX. Características del sistema 3 de la red actual

Suministro de agua suave a área de preparación		
1	Presión en el punto inicial	101 325 pa
2	Velocidad del agua inicial	1,55 m/seg
3	Altura inicial del agua	0 m
4	Altura total dinámica de la bomba	60 m
5	Presión en el punto final	X
6	Velocidad del agua final	1,7 m/seg
7	Altura final del agua	4 m

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Se comenzará sustituyendo los valores que se tienen en la primera expresión.

$$P_2 = 9\,783,24 \left( \frac{N}{m^3} \right) \left[ \frac{101\,325}{9\,783,24} + \frac{\left(1,55 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(1,7 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)} - 4 + 60 \text{ m} - CDT \right]$$

Para completar la anterior expresión es necesario calcular la carga dinámica total, por lo que se procederá con el cálculo de dicho valor

$$CDT = H_{\text{fricción}} + H_{\text{menores}} + H_{\text{presión}}$$

Se iniciará por las pérdidas por fricción con ayuda de la ecuación de Hazen-Williams, como antes se mencionó. La resultante de este valor se definirá como la suma de las pérdidas en cada sección donde varía, ya sea el material de la tubería, el caudal y el diámetro.

$$H_{\text{fricción}} = h_1 + h_2 + h_3 \dots h_n$$

$$H_{\text{fricción}} = \frac{10,65(L_1)^{1,85}}{(C_1^{1,85})(D_1^{4,87})} + \frac{10,65(L_2)(Q_2)^{1,85}}{(C_2^{1,85})(D_2^{4,87})} \dots + \frac{10,65(L_n)(Q_n)^{1,85}}{(C_n^{1,85})(D_n^{4,87})}$$

En tabla XX se muestra un resumen del cálculo de las pérdidas por fricción, presentando una suma al final de todas las pérdidas por cargas.

Tabla XX. Pérdidas por fricción del sistema 3 de la red actual

Pérdida por fricción para sistema 3							
No.	Longitud m	Caudal gpm	caudal m <sup>3</sup> /s	Factor C	Diámetro pulg	Diámetro m	Pérdida m
1	43	250	0,016	130	4	0,10	1,79
2	19	3	0,000	130	2	0,05	0,01
3	10	194	0,012	130	4	0,10	0,26
4	22	3	0,000	130	1	0,03	0,22
5	20	191,79	0,012	130	4	0,10	0,51
6	11	13	0,001	130	4	0,10	0,00
7	35	10	0,001	130	2	0,05	0,11
8	10	178,13	0,011	130	4	0,10	0,22
9	28,37	40	0,003	130	4	0,10	0,04
10	15	134,73	0,009	130	4	0,10	0,20
11	13	5,2	0,000	130	4	0,10	0,00
10	11,73	129,53	0,008	130	4	0,10	0,14
11	30	122,7	0,008	130	3	0,08	1,36
Longitud total del sistema							268,10
Total, pérdidas por fricción en tubería							4,86
Pérdidas menores o localizadas							6,70
Total, pérdidas en metro lineal							11,56
Porcentaje de pérdida respecto longitud total							4,31 %

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Es importante tomar en cuenta ahora las incrustaciones que presentan las tuberías, en ciertos tramos se pudo captar tubería con media pulgada de incrustación en su perímetro interno, por lo que es alrededor de una pulgada de disminución de diámetro en la tubería, es algo a tomar muy en cuenta, ya que la caída de presión aumentará significativamente y será una resistencia sumamente alta, la cual todas las bombas deberán trabajar para vencer. Por lo tanto, la caída de presión en el sistema es la siguiente.

$$P_2 = \left[ \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 * g} + Z_1 - Z_2 - CDT \right] \gamma$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$P_2 = 9\,783,24 \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \right) \left[ \frac{101\,325}{9\,783,24} + \frac{\left(1,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(1,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} - 4 + 60 \text{ m} - 10,96 \right]$$

$$P_2 = 636\,714,05 \text{ pascales} = 90 \text{ psi}$$

$$\Delta P = 99 \text{ psi} - 93,45 \text{ psi} = 5,55 \text{ psi}$$

### 1.9.5. Conversión de caída de presión a costo por energía eléctrica

Habiendo obtenido las tres caídas de presión para los tres sistemas hidráulicos, se presenta en la tabla XXI el resumen de estas, conjuntamente con su equivalencia en metros lineales, el cual se utilizará para un cálculo posterior de energía eléctrica.

Tabla XXI. Resumen de caída de presión por sistema y caída total

Sistema	Caída de presión psi	Caída de presión en metros
1	44,0	33,66
2	41,3	31,59
3	5,55	4,24
<b>Metros totales de caída de presión</b>		<b>69,50</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Para traducir las libras por pulgada cuadrada de presión que se perdió en los distintos sistemas, se utilizará el factor de 1 psi equivalente a 2,51 pies de columna de agua, por lo que después se convierte a metros para obtener el

resultado. A continuación, con ayuda de la ecuación de potencia de una bomba hidráulica, el valor en metros de 69,50 será la cabeza de la bomba.

$$P_B = \frac{Q * \gamma * H_B}{e}$$

Q = caudal en metros cúbicos por segundo

Y = peso específico del fluido en newton por metro cúbico

HB = cabeza de bomba en metros

Sustituyendo valores en la ecuación, según las condiciones a las que se está sujeto, tomando un caudal promedio de 250 galones por minuto y una eficiencia del fabricante Paco Pumps del 75 %, la ecuación y el resultado sería el siguiente.

$$P_B = \frac{0,01577 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 9\,783,24 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 69,50 \text{ m}}{0,75} = 14\,296,77 \text{ w}$$

Según la sección 1.4.5 se usarán los valores de costo de energía eléctrica por hora y se tomará el tiempo de uso como 16 horas al día, como dos turnos de 8 horas.

$$\text{Energía} = (\text{potencia})(\text{tiempo})$$

$$\text{Energía por día} = (14\,296,77 \text{ w})(16 \text{ hrs}) = 228,748 \text{ kwh}$$

$$\text{Costo por día} = (228,748 \text{ kw}) \left( \frac{Q0,77}{\text{kwh}} \right) = Q176,13 \text{ al día}$$

$$\text{Costo por año} = (83\,493,12 \text{ kw}) \left( \frac{Q0,77}{\text{kwh}} \right) = Q64\,289,71 \text{ al año}$$

El resultado obtenido del costo de energía eléctrica por año debido a la caída de presión, es un valor bastante significativo que una empresa puede ahorrarse, tomando en cuenta el dinero que ya se invierte en gasto de energía por todas las demás bombas existentes, por lo que un rediseño de la red donde se pueda disminuir este valor será de ayuda para la empresa.

## **2. FASE TÉCNICA PROFESIONAL**

Después de conocer el estado de la red hidráulica en la empresa, es momento de corregir algunas debilidades presentes en la red de agua suave, por lo que en esta fase se muestran los cálculos, diagramas, ahorros económicos que se obtendrán a partir de las mejoras planteadas.

### **2.1. Rediseño de equipos especializados para el ablandamiento del agua**

Para un óptimo rediseño de la red de distribución de agua suave, es necesario empezar con los primeros equipos, los cuales serán los suavizadores de agua, asimismo, como todos los componentes que los integran para su funcionamiento, por lo que este subcapítulo se referirá a las dimensiones de los suavizadores, cantidad de sal y tiempos de regeneración de los suavizadores. Es importante tomar en cuenta que la red actual fue diseñada para alta demanda de producción y con otros equipos que estuvieron en funcionamiento, ahora la producción ha disminuido, los procesos y máquinas han cambiado; por lo que es importante apegar el rediseño a la situación actual de la empresa y brindar un diseño de acuerdo a sus necesidades actuales.

#### **2.1.1. Propuesta de localización de suavizadores, volumen de resina catiónica, tiempos de regeneración y cantidad de sal necesaria**

Para iniciar con esta sección es importante llevar un orden para lograr hacer un diseño de equipos óptimo, en la fase de investigación se obtuvieron mediante

el levantamiento y cálculo de muchas variables, información que será de mucha utilidad, por lo que se empezará calculando la cantidad necesaria de suavizadores de la siguiente manera.

### 2.1.1.1. Consumo nuevo de agua suave para planta número dos

Primero se tomará el dato de la demanda actual de agua suave en la planta 2, preparación y teñido, se toma de referencia la tabla VIII y se verá en la tabla XXII.

Tabla XXII. Consumo de agua de planta de preparación y teñido

Consumo de agua planta 2	
Consumo agua suave planta 2	740 gpm
Porcentaje por ampliaciones futuras, fugas, mal uso del agua	20 %
<b>Total caudal necesario</b>	<b>888 gpm</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Asegurando así el caudal necesario para toda la maquinaria y prever a futuro que crezca la producción y que esta propuesta siga siendo funcional para su demanda.

### 2.1.1.2. Dureza a utilizar para nuevo diseño de suave de agua

Como siguiente paso hay que analizar la dureza que se utilizará, la dureza del agua es variable respecto al tiempo, en verano la dureza del agua disminuye y en invierno aumenta debido a la lluvia que erosiona el suelo y arrastra consigo

minerales, provocando así que la dureza del agua aumente, por lo que debe ser considerado y prevenir de igual forma que esta propuesta falle en este punto. Para evitar dicho problema se tomarán las siguientes condiciones.

Haciendo un recordatorio de las durezas de los pozos y piscinas de almacenamiento de agua, se tomará el valor más alto a la que se mantuvo el agua durante el tiempo que se tomaron las muestras, el valor fue de 150 ppm. Con el dato de cauda y dureza de agua se establece la cantidad de suavizadores y el tamaño de ellos. El cálculo es el siguiente:

$$\text{Caudal total a suavizar} = 888 \text{ gpm}$$

$$\text{GD} = \frac{150 \text{ ppm}}{17,1 \text{ ppp}} = 8,77 \text{ granos de dureza}$$

$$\text{Dureza total a suavizar} = (888 \text{ gpm}) \left( \frac{8,77 \text{GD}}{\text{gal}} \right) = 7\,787,76 \frac{\text{GD}}{\text{min}}$$

$$\text{Dureza a suavizar por día} = \left( 7\,787,76 \frac{\text{GD}}{\text{min}} \right) (60) \left( 16 \frac{\text{hrs}}{\text{día}} \right) = 7\,476\,249,6 \frac{\text{GD}}{\text{día}}$$

Como se observa, el valor de granos de dureza al día que se debe suavizar es un valor bastante considerable, por lo que la selección del tamaño de los suavizadores es fundamental para lograr una eficiencia alta de suavizado, y a la vez, una reducción económica en todos los componentes que integran el tratamiento del agua para este caudal y esta dureza que se encuentra en la empresa.

### 2.1.1.3. Resina catiónica propuesta a utilizar

La resina catiónica seleccionada será la c-100 marca PURIKOR, la cual brinda valores técnicos de su resina catiónica, asimismo, brinda la capacidad máxima de suavizado regenerando con una determinada cantidad de salmuera para que no haya un gasto excesivo de dinero, y a la vez, un gasto excesivo de consumibles. Algunos datos técnicos se observan en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. Datos técnicos resina catiónica c100 marca Purikor

Capacidad de suavizado por pie <sup>3</sup> , GD	
Libras de sal por pie cúbico	Granos de dureza capaces de suavizar
6	20 000
9	25 000
12	28 000
Flujo recomendable para suavizadores por pie <sup>3</sup>	
Flujo	galonaje
Flujo para mejor suavizado	3 gpm
Flujo normal	5 gpm
Flujo pico	7,5 gpm hasta 50 % adicional

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

### 2.1.1.4. Propuesta de cantidad y volumen de suavizadores

Con los datos técnicos de la resina catiónica se establece el volumen de los suavizadores. Por lo que se tomarán los siguientes valores para diseñar los nuevos suavizadores de agua y así asegurar la mayor eficiencia del suavizador.

- 9 libras de sal por pie cúbico de resina catiónica.
- 25 000 granos de dureza para suavizar por pie cúbico de resina.

- Un flujo normal de 5 gpm por pie cúbico de resina catiónica.
- Regeneraciones de 1 vez al día para un desgaste normal de la resina catiónica.

Con estas condiciones se calcula el tamaño y cantidad de los suavizadores con el siguiente procedimiento.

$$\text{Granos de dureza a suavizar} = 7\,476\,249,6 \frac{\text{GD}}{\text{día}}$$

$$\text{Pies cúbicos de resina c100 necesarios} = \frac{\text{granos a suavizar}}{\text{granos de diseño por pie}^3}$$

$$\text{Pies cúbicos de resina c100 necesarios} = \frac{7\,476\,249,6 \text{ GD/día}}{25\,000 \text{ GD/pie}^3} = 299 \frac{\text{pie}^3}{\text{día}}$$

Se utilizarán suavizadores de 20 pies cúbicos de volumen, esto se hará para reducir los tiempos de mantenimiento, y a la vez, reducir los costos de pago a una cantidad excesivas de personas para este trabajo.

$$\text{suavizadores} = \frac{\text{pies cúbicos de resina necesaria}}{\text{tamaño de suavizador de } 20 \text{ pie}^3} = \frac{299 \frac{\text{ft}^3}{\text{día}}}{20 \text{ pie}^3 \text{ suavizadores}} = 15$$

Se reduce el número a 15 suavizadores de 20 pies cúbicos de volumen de agua preparado la salmuera con 3 libras de sal por galón de agua, regenerando una vez al día.

### 2.1.1.5. Preparación de salmuera

La salmuera es una solución de agua saturada con sal común (NaCl), para esta propuesta de rediseño se utilizará una solución de 3 libras de sal disueltas por cada galón de agua, este valor es muy importante para obtener una regeneración eficiente, es decir que, el intercambio de calcio y magnesio por el sodio sea completo y así tener la capacidad máxima que se presentó en la tabla XX. La salmuera se deberá preparar de la siguiente manera.

$$\text{Litros de agua para preparación} = \frac{\text{pie}^3_{c100} * 9 \frac{\text{libras}_{sal}}{\text{pie}^3_{c100}}}{3 \frac{\text{lb}_{sal}}{\text{galón}}} * 3,78$$

$$\text{Litros de agua para preparación} = 227 \text{ litros}$$

En la actualidad se utilizan 7,5 lb-sal por cada pie cúbico de resina catiónica, la cual deja con una menor capacidad de suavizado, además de que la preparación de la salmuera es de 1 lb-sal/gal, la cual da una probabilidad bastante alta que el intercambio iónico en la regeneración del suavizador no sea la adecuada, por lo que el sistema seguramente es deficiente.

### 2.1.1.6. Intercambio iónico y regeneración de un suavizador

El intercambio iónico es un proceso de separación de iones. Un ion es un átomo o grupo de átomos cargados eléctricamente. Estos se clasifican por un intercambio. Los iones cargados positivamente son llamados cationes, ya que estos emigran al cátodo o electrodo negativo. Los iones cargados negativamente

son llamados aniones, porque emigran al ánodo o electrodo positivo en la celda galvánica.

Los cationes, comúnmente encontrados en el agua, son calcio, magnesio, sodio, hierro y manganeso. Los aniones, generalmente encontrados en el agua, son bicarbonatos, carbono, cloruro, sulfato y nitrato. Hay ocho compuestos que se asocian con el problema de la dureza. Estos compuestos divididos en clasificaciones en relación a su facilidad de remoción. La dureza temporal puede ser causada por bicarbonatos de calcio, carbonato de calcio, bicarbonato de magnesio y puede ser removida mediante la ebullición del agua.

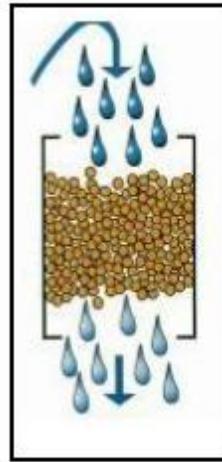
La dureza permanente es causada por el cloruro de calcio, sulfato de calcio, sulfato de magnesio y cloruro de magnesio. Estos compuestos son llamados dureza no carbonatada.

Los problemas de dureza son ocasionados por los cationes calcio y magnesio. Si los cationes de calcio y magnesio son removidos para reemplazarlos por cationes de sodio, los problemas de dureza pueden ser eliminados.

La separación de los iones y el intercambio es lograda por el uso de una columna de resina insoluble que es mantenida neutra por iones sodio. Al pasar el agua que contiene, calcio y magnesio, por la columna de resina. Los cationes de calcio y de magnesio se adhieren a la resina y son reemplazados por cationes de sodio que tenía la resina. Los cationes de sodio no producen problemas de dureza, así el agua suave es descargada hacia el servicio.

En la figura 10 se observa una representación de la resina y el flujo a través de ella, por la parte de arriba se introduce agua dura y por abajo o en la salida se obtiene agua suave.

Figura 10. **Recorrido del agua entre la resina**



Fuente: RAMÍREZ, Enríquez. *Reutilización sana y ahorro de agua en una edición multifamiliar*. p.15.

La columna de resina puede suavizar el agua mientras contenga cationes de sodio, la resina debe ser regenerada con sal (NaCl). El proceso de intercambio es el siguiente:



Para regenerar el suavizador, una solución fuerte de salmuera es usada. La solución fuerte de salmuera forzará al calcio y al magnesio de regreso a la solución. Los cationes de sodio se adhieren a la resina para que se mantenga eléctricamente neutra.



Hay cuatro pasos básicos en la operación de un suavizador.

- El retrolavado: en este paso, agua fresca fluye en una dirección hacia arriba a través de la cama de resina. La resina es expandida y los sólidos en suspensión que tienen una gravedad específica más baja que la resina, serán drenados. La cama se empaca otra vez por el flujo de servicio, así que el retrolavado afloja la cama para un mejor contacto en los pasos de salmuera.
- Salmuera y enjuague lento: una cantidad medida de salmuera extraída del tanque de salmuera, fluye lentamente hacia abajo a través de la cama de resina. Después de que se introduce el monto medido de salmuera, un ciclo de enjuague lento limpia la solución de salmuera de la cama de resina. La resina retiene el sodio, y el calcio y el magnesio son drenados.
- Enjuague rápido: esta lava la resina en un flujo hacia abajo para asegurar que toda la salmuera haya sido limpiada de la resina.
- Servicio: el agua fluye a través de la cama de resina en un flujo hacia abajo, de tal forma que se introduce agua suave a las líneas de servicio.

Si el agua tiene un contenido de dureza alta en sodio, en sus sólidos disueltos habrá un sangrado de dureza. Cuando el contenido de sodio en el agua es alto, la resina tenderá a regenerarse mientras suaviza. La dureza se fugará de la resina y aparecerá en el agua de servicio.

### **2.1.2. Control de regeneración automática**

La mayor parte de los suavizadores, actualmente están optimizados con sistemas automáticos de regeneración, los cuales se encargan de regenerar automáticamente la resina con sodio y drenar el calcio y magnesio que se enlazó en el periodo de tiempo de ablandamiento.

Existen algunos sistemas de autoregeneración, algunos de ellos son:

- Sistema de autoregeneración por control de tiempo mediante un cronómetro eléctrico, regeneración por horarios establecidos.
- Sistema de control por flujo o caudal de agua que fluye por el suavizador, se establece una cantidad de galones o litros a fluir y el sistema auto regenerará el suavizador al pasar ese límite.
- Sistema de autocontrol de calidad de agua, este sistema mide la dureza del agua en tiempo real, al establecer por el usuario la dureza mínima deseada en el flujo de salida, este sistema será accionado al tener una dureza de salida mayor a la establecida.

Con ayuda de la información obtenida en este informe y por temas de costo de estos sistemas, el más rentable es el número 2, sabiendo el volumen de agua capaz de suavizar, se puede programar perfectamente un flujómetro y el sistema para autoregenerar la resina catiónica.

**2.1.2.1. Volumen de agua por suavizador y tiempo de regeneración para programación de sistemas automatizados, según elija el usuario**

El volumen de agua a suavizar en galones y tiempo de regeneración en horas será el siguiente, recordando que se tendrán suavizadores únicamente de veinte pies cúbicos de resina catiónica.

Para calcular el tiempo para regenerar la resina se hará de la siguiente manera:

$$\text{Tiempo regeneración} = \frac{\frac{\text{granos de dureza a suavizar}}{\text{cantidad de suavizadores}}}{\text{volumen}_{\text{suavizador}} * \text{capacidad}_{\text{resina}}}$$

$$\text{Tiempo regeneración} = \frac{(20 \text{ pie}^3) \left( 25\,000 \frac{\text{GD}}{\text{pie}^3} \right)}{\frac{7\,476\,249,6 \text{GD}}{\text{día}} \cdot 15 \text{ suavizadores}} = \frac{500\,000}{498\,000} = 1 \text{ día}$$

Para calcular la cantidad de galones de agua disponibles entre regeneración por suavizador se hará de la siguiente manera:

$$\text{galones}_{\text{disponibles}} = \frac{(\text{Vol}_{\text{suavizador}})(\text{capacidad}_{\text{resina}})}{\left( \frac{\text{GD}}{\text{gal}} \right)} = 57\,012,54 \frac{\text{gal}}{\text{regeneración}}$$

El flujo de agua admisible para el tamaño de suavizador para regenerar una vez al día será de:

$$\text{gpm} = \frac{(\text{GD}_{\text{suavizador}})}{\left(\frac{\text{GD}}{\text{GAL}}\right) (\text{tiempo}_{\text{hrs}})(960)}$$

$$\text{gpm} = \frac{(500\ 000\ \text{GD})}{\left(8,77\ \frac{\text{GD}}{\text{gal}}\right) (16\ \text{hrs}) \left(60\ \frac{\text{min}}{\text{hrs}}\right)} = 60\ \text{gpm}$$

#### **2.1.2.2. Vida útil promedio de resina catiónica**

Después de una serie de ciclos de intercambio iónico, las resinas de intercambio iónico sufren la pérdida de sitios de intercambio activo o sufren la rotura de los enlaces transversales de la resina, disminuyendo su capacidad de intercambio.

Las resinas catiónicas fuertes, primero pierden su capacidad de intercambio para captar cationes asociados a los ácidos fuertes y las resinas aniónicas fuertes disminuyen su capacidad de captar aniones débiles a baja concentración, tales como los carbonatos y silicatos.

La mayoría de los autores de la especialidad asignan una vida útil esperada de las resinas de intercambio iónico entre los 5 y los 10 años. Según la empresa Purikor, las resinas aniónicas tienen una vida útil teórica de 70 a 300 m<sup>3</sup> de agua tratada por litro de resina y las resinas catiónicas de 200 a 1 500 m<sup>3</sup> de agua tratada por litro de resinas; en ambos casos dependerá de la calidad del agua a tratar, para este caso se utilizará un valor de 1 150 m<sup>3</sup> de agua tratada por litro de resina utilizada según fabricante.

Por lo que, para este caso en particular, se estima la vida útil de la resina catiónica c100 de la siguiente manera.

$$\text{Vida útil}_{\text{resina}} = \frac{\left(\frac{1\,500\text{ m}^3_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{litro}_{\text{c100}}}\right)(7\,478,70)(\text{Vol}_{\text{suavizador}})}{\text{galones de consumo}_{\text{agua}}(365)} = \text{años}$$

$$\text{Vida útil} = \frac{(20\text{ ft}^3)(1\,150\text{ m}^3)(7\,478,70)}{57\,012,54 \frac{\text{galones}_{\text{agua}}}{\text{día}} * 365} = 7 \text{ años}$$

Este valor puede variar dependiendo de la producción, es decir, del consumo que haya en planta, y a la vez del mantenimiento de la resina y del suavizador en sí, por ejemplo, la extracción y limpieza de la resina cada seis meses, limpieza de todo el suavizador por dentro, cambio de filtros en la tubería de alimentación para evitar contaminantes que dañen la resina; entre otros que ayudarán a tener una vida útil más prolongada, este dato es un valor ideal, generalmente a medida que la producción crezca la demanda será mayor y el tiempo de vida útil disminuirá debido al galonaje diario requerido, por lo que se maneja alrededor de dos tercios del valor teórico, por lo que se puede establecer un valor confiable de 6 años de vida útil

### **2.1.3. Propuesta de rediseño del sistema de conducción del agua suave**

A continuación, se presenta el sistema propuesto para conducción de agua suave que se ha planteado con base en la conveniencia de la empresa y, a la vez de reducir costos, por lo que se presentará el plano propuesto, distribución de tuberías, dimensionamiento de tuberías, material de tubería a utilizar, velocidades de conducción, bombas hidráulicas a utilizar, colores de tubería,

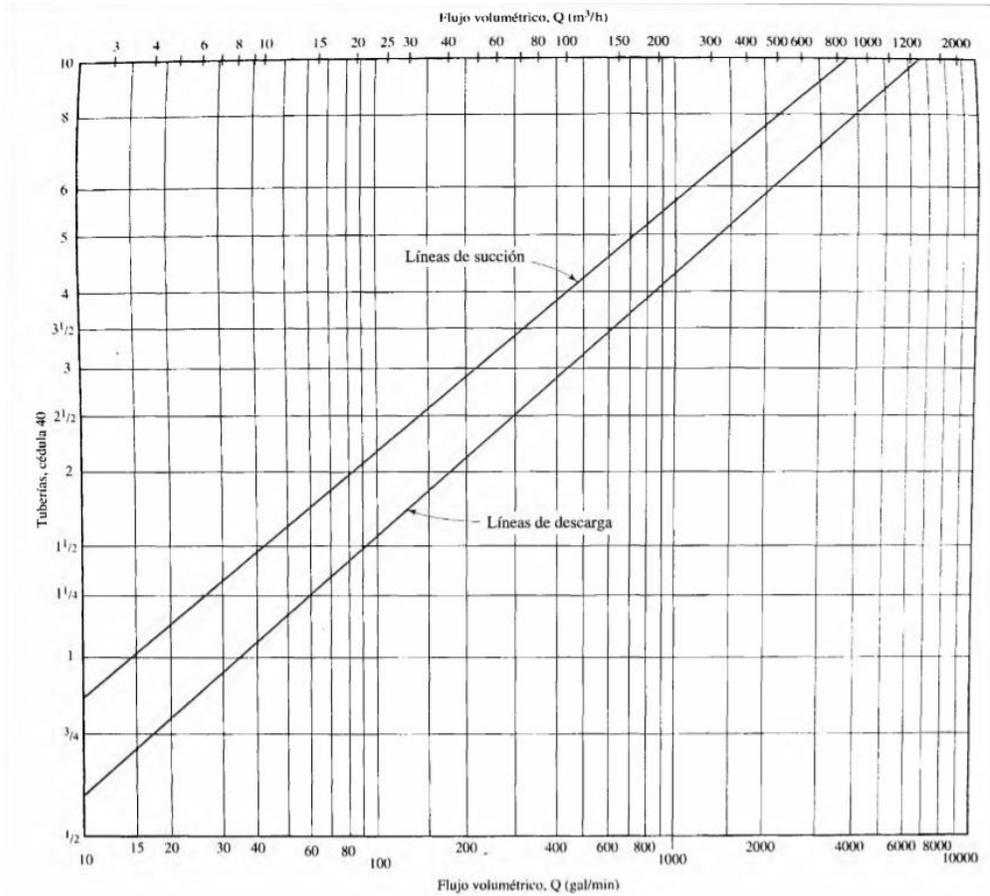
accesorios necesarios para un control de la calidad del agua y del sistema de conducción.

#### **2.1.3.1. Plano propuesto**

En la figura 11 se puede observar el plano propuesto, en él se ve una notable reducción de longitud de tubería y a la vez una redistribución pensada para un consumo energético menor, y asegurar el abastecimiento de agua en todas las partes donde se necesita agua tratada.



Figura 12. Dimensiones y velocidades de flujo recomendables para sistemas especializados



Fuente: MOTT, Robert, *Mecánica de fluidos*. p. 254.

Sin embargo, la U. S. Army Corps of Engineers, tras varios estudios han determinado que; para sistemas de conducción de agua que no requiera un estudio o excepciones especiales, estandariza que hay que utilizar una velocidad dentro del sistema de 2,1 m/s - 3,0 m/s, por lo que, el caudal en cada sección y la velocidad recomendada logra obtener el diámetro ideal, que otorgará un equilibrio de eficiencia respecto caída de presión y costos de materiales. Ahora que se presentan dos escenarios dentro de la propuesta compuesta de dos

sistemas en serie; el primero es un caudal de 500 galones por minuto y el segundo sistema de 288 galones por minuto; por lo que utilizando la tabla y la ecuación de continuidad se encontrará la velocidad recomendada para la conducción del flujo, se obtienen los siguientes resultados que se pueden visualizar en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. **Dimensiones de tubería de succión y de descarga bajo condiciones del estándar de U.S. Army Corps of Engineers**

<b>Para tubería de succión y de descarga utilizar 2,5 m/s de velocidad de flujo</b>			
<b>Flujo volumétrico</b>		<b>Diámetro recomendado</b>	
<b>gpm</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>	<b>metros</b>	<b>pulgadas</b>
25	0,002	0,028	1,116
50	0,003	0,04	1,578
75	0,005	0,049	1,933
100	0,006	0,057	2,232
125	0,008	0,063	2,495
150	0,009	0,069	2,733
175	0,011	0,075	2,952
200	0,013	0,08	3,156
225	0,014	0,085	3,348
250	0,016	0,09	3,529
275	0,017	0,094	3,701
300	0,019	0,098	3,865
325	0,021	0,102	4,023
350	0,022	0,106	4,175
375	0,024	0,11	4,322
400	0,025	0,113	4,463
425	0,027	0,117	4,601
450	0,028	0,12	4,734
475	0,03	0,124	4,864
500	0,032	0,127	4,99
525	0,033	0,13	5,113
550	0,035	0,133	5,234
575	0,036	0,136	5,351

Continuación de la tabla XXIV.

600	0,038	0,139	5,466
625	0,039	0,142	5,579
650	0,041	0,145	5,69
675	0,043	0,147	5,798
700	0,044	0,15	5,904
725	0,046	0,153	6,009
750	0,047	0,155	6,112
775	0,049	0,158	6,213
800	0,05	0,16	6,312
825	0,052	0,163	6,41
850	0,054	0,165	6,506
875	0,055	0,168	6,601
900	0,057	0,17	6,695
925	0,058	0,172	6,787
950	0,06	0,175	6,878

Fuente: U. S. Army Corp of Engineers. *Liquid Process*. p.7.

Tomar en cuenta que, al utilizar dimensiones menores a las presentadas, significará un desperdicio muy alto de energía, es decir, alta caída de presión y menor eficiencia en el sistema, además el estándar garantiza un flujo turbulento en el sistema para la resolución de diferentes sistemas hidráulicos, utilizando las ecuaciones antes vistas para dicho régimen de flujo.

### **2.1.3.3. Material y propiedades de tubería recomendada**

El material seleccionado para la conducción de agua en el rediseño propuesto, será la tubería de acero al carbón estándar ASTM-A53, sin costura y soldable en todas sus secciones, con accesorios de acero al carbón que cumplan con una resistencia de presión mínima de 100 psi o 690 kpa, con excepciones de rosca para accesorios que únicamente sean roscados, con rosca NPT con

aplicación de teflón con dirección de amarre hacia dirección de roscado, y aplicación de sellador de rosca loctite. Esta especificación estándar para tubos de acero al carbón, con y sin costura, tubería soldada, tiene usos comunes en oleoductos, gasoductos, tratamientos de agua, depósitos minerales, perforación de pozos para agua, agua de calderas, piezas mecánicas, entre otros; por lo que es un excelente material que cumple con los requisitos de las distintas normas de fabricación de tuberías como la ASTM A530 y con propiedades de resistencia de presión, resistencia térmica, no suelta contaminantes por su capa protectora que no deja que se oxide y la hace resistente a la corrosión.

En los siguientes apartados se describirán algunos métodos de protección contra la corrosión que brinda la U. S. Army Corps of Engineers.

En la figura 13 se describen las propiedades de la tubería ASTM A530 y en las figuras 14 y 15, la resistencia mecánica de la tubería ASTM A530.

Figura 13. **Propiedades físicas de tubería ASTM-A53**

Diámetro Nominal	Dimen. Exterior	STD		SCH-40		XS		SCH-80		SCH-160	
		Espesor Nominal	Peso								
Pulgadas	mm	mm	kg/m								
1/4	13.7	2.24	0.63	2.24	0.63	3.02	0.80	3.02	0.80	-	-
3/8	17.1	2.31	0.84	2.31	0.84	3.20	1.10	3.20	1.10	-	-
1/2	21.3	2.77	1.27	2.77	1.27	3.73	1.62	3.73	1.62	4.78	1.95
3/4	26.7	2.87	1.69	2.87	1.69	3.91	2.20	3.91	2.20	5.56	2.90
1	33.4	3.38	2.50	3.38	2.50	4.55	3.24	4.55	3.24	6.35	4.24
1 1/4	42.2	3.56	3.39	3.56	3.39	4.85	4.47	4.85	4.47	6.35	5.61
1 1/2	48.3	3.68	4.05	3.68	4.05	5.08	5.41	5.08	5.41	7.14	7.25
2	60.3	3.91	5.44	3.91	5.44	5.54	7.48	5.54	7.48	8.74	11.11
2 1/2	73.0	5.16	8.63	5.16	8.63	7.01	11.41	7.01	11.41	9.53	14.92
3	88.9	5.49	11.29	5.49	11.29	7.62	15.27	7.62	15.27	11.13	21.35
4	114.3	6.02	16.07	6.02	16.07	8.56	22.32	8.56	22.32	13.49	33.54
5	141.3	6.55	21.77	6.55	21.77	9.53	30.97	9.53	30.97	15.88	49.12
6	168.3	7.11	28.26	7.11	28.26	10.97	42.56	10.97	42.56	18.26	67.57
8	219.1	8.18	42.55	8.18	42.55	12.70	64.64	12.70	64.64	23.01	111.27
10	273.0	9.27	60.29	9.27	60.29	12.70	81.55	15.09	95.98	28.58	172.27
12	323.8	9.53	73.88	10.31	79.71	12.70	97.46	17.48	132.05	33.32	238.69
14	355.6	9.53	81.33	11.13	94.55	12.70	107.39	19.05	158.11	35.71	281.72
16	406.4	9.53	93.27	12.70	123.31	12.70	123.30	21.44	203.54	40.49	365.38
18	457	9.53	105.16	14.27	155.81	12.70	139.15	23.83	254.57	45.24	459.39
20	508	9.53	117.15	15.09	183.43	12.70	155.12	26.19	311.19	50.01	564.85
22	559	9.53	129.13	-	-	12.70	171.09	28.58	373.85	53.98	672.30
24	610	9.53	141.12	17.48	255.43	12.70	187.06	30.96	442.11	59.54	808.27

Fuente: OCTAL Aceros. *ASTM-A53 especificaciones*. p.6.

Figura 14. Resistencia para tubería ASTM-A53

Máxima Presión PSI											
Medida Nominal inch (mm)	Cédula		Espesor de pared (mm)	Temperature (°C)							
				-67	205	260	350	370	400	430	450
				Maximum Allowable Stress (MPa)							
			137.8	137.8	130.2	117.1	115.7	89.6	74.4	59.9	
1/2" (15)	STD	40	2.77	4992	4992	4718	4243	4193	3245	2696	2172
	XS	80	3.73	6975	6975	6594	5929	5859	4534	3766	3034
		160	4.78	9113	9113	8612	7746	7655	5923	4921	3964
	XXS		7.47	14249	14249	13465	12112	11969	9262	7695	6199
3/4" (20)	STD	40	2.87	4071	4071	3847	3461	3420	2646	2198	1771
	XS	80	3.91	5717	5717	5402	4860	4802	3715	3087	2486
		160	5.56	8434	8434	7971	7169	7084	5482	4554	3668
	XXS		7.82	12054	12054	11391	10246	10125	7836	6509	5243
1" (25)	STD	40	3.38	3807	3807	3598	3236	3198	2474	2056	1656
	XS	80	4.55	5262	5262	4973	4476	4420	3421	2842	2289
		160	6.35	7612	7612	7193	6470	6394	4948	4110	3311
	XXS		9.09	11172	11172	10558	9496	9385	7262	6033	4860
1 1/4" (32)	STD	40	3.56	3135	3135	2962	2664	2633	2038	1693	1364
	XS	80	4.85	4377	4377	4136	3720	3676	2845	2363	1904
		160	6.35	5888	5888	5564	5005	4946	3827	3180	2561
	XXS		9.7	9370	9370	8854	7963	7871	6090	5059	4075
1 1/2" (40)	STD	40	3.68	2820	2820	2665	2397	2368	1833	1530	1226
	XS	80	5.08	3974	3974	3756	3379	3339	2583	2147	1729
		160	7.14	5764	5764	5453	4905	4847	3750	3116	2510
	XXS		10.16	8525	8528	8056	7247	7161	5541	4604	3708
2" (50)	STD	40	3.91	2375	2375	2243	2020	1996	1544	1283	1033
	XS	80	5.54	3431	3431	3242	2916	2882	2230	1853	1492
		160	8.74	5637	5637	5327	4792	4736	3665	3044	2452
	XXS		11.07	7367	7367	6962	6262	6189	4789	3978	3205
2 1/2" (65)	STD	40	5.16	2598	2598	2455	2208	2183	1689	1403	1130
	XS	80	7.01	3600	3600	3401	3060	3024	2339	1944	1566
		160	9.53	5020	5020	4745	4267	4217	3264	2711	2184
	XXS		14.02	7699	7699	7275	6544	6467	5004	4157	3349
3" (80)	STD	40	5.49	2256	2256	2171	1918	1895	1466	1218	981
	XS	80	7.62	3189	3186	3014	2711	2679	2073	1722	1387
		160	11.13	4798	4798	4533	4077	4029	3118	2590	2087
	XXS		15.24	6813	6813	6439	5791	5723	4429	3679	2964

Continuación de la figura 14.

Máxima Presión PSI											
Medida Nominal inch (mm)	Cédula		Espesor de pared (mm)	Temperature (°C)							
				-67	205	260	350	370	400	430	450
				Maximum Allowable Stress (MPa)							
			137.8	137.8	130.2	117.1	115.7	89.6	74.4	59.9	
4" (100)	STD	40	6.02	1913	1913	1808	1626	1607	1243	1033	832
	XS	80	8.56	2764	2764	2612	2349	2322	1797	1754	1202
		120	11.13	3654	3654	3453	3105	3069	2374	1973	1595
		160	13.49	4499	4499	4251	3824	3779	2924	2429	1916
	XXS		17.12	5852	5852	5530	4975	4916	3804	3160	2545
5" (125)	STD	40	6.55	1677	1677	1584	1425	1408	1089	905	731
	XS	80	9.53	2474	2474	2338	2103	2079	1609	1336	1076
		120	12.7	3355	3355	3170	2851	2818	2180	1812	1459
		160	15.88	4265	4265	4030	3626	3583	2772	2303	1856
	XXS		19.05	5206	5206	4921	4426	4374	3385	2812	2265
6" (150)	STD	40	7.11	1530	1530	1440	1294	1279	990	779	663
	XS	80	10.97	2389	2389	2258	2032	2008	1553	1290	1039
		120	14.27	3154	3154	2981	2676	2649	2051	1704	1372
	XXS	160	18.26	4108	4108	3882	3492	3450	2670	2218	1787

Fuente: OCTAL Aceros, *ASTM-A53 especificaciones*. p. 7 - 8.

Con lo antes descrito se diseña con las condiciones tanto de flujo como de materiales, de manera que el sistema sea lo más eficiente en términos energéticos y económicos.

#### 2.1.4. Caída de presión en red propuesta y selección de equipos para impulsión del líquido

En esta sección se procederá a hacer el cálculo de la caída de presión en cada una de las redes y posteriormente, la propuesta, localización y formación de las máquinas hidráulicas para un funcionamiento óptimo y eficiente de la red de conducción de agua suave.

Cada uno de los sistemas que se presentarán a continuación será especificado en un plano, tablas y calculará la caída de presión como se calculó en la fase de investigación, con ciertas diferencias que se explicarán.

#### **2.1.4.1. Sistema número uno**

Este sistema comprenderá desde la alimentación de agua dura en la piscina general, hacia suavizadores ubicado en la entrada principal de la planta, conducción destinada a todas las teñidoras de agotamiento, *cold pad batch*, máster y lavandería.

A continuación, se presentará el plano para el sistema número uno, en la figura 15 se observan valores de caudales, diámetros de tubería y longitudes. En la tabla XXV se muestran las características del sistema, como presión velocidades, alturas de estanques, entre otros.



Tabla XXV. **Características del sistema 1 de red propuesta**

Suministro de agua sistema 1		
1	Presión en el punto inicial	101 325 pa
2	Velocidad del agua inicial	2,5 m/seg
3	Altura inicial del agua	0 m
5	Presión en el punto final	413 685 pa
6	Velocidad del agua final	2,5 m/seg
7	Altura final del agua	4 m

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

En este caso, en lugar de buscar la presión en el punto final para obtener la caída de presión, se buscará la carga total de la bomba ( $h_b$ ), con una caída de presión permisible de 0,78 bar, equivalente a 75 842 pascales, así que se diseñará para mantener dentro de nuestra tubería una presión de 60 psi. Por lo que:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{\text{bomba}} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \text{CDT}$$

$$h_{\text{bomba}} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \text{CDT} - Z_1 - \frac{P_1}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g}$$

$$h_{\text{bomba}} = (Z_2 - Z_1) + \left( \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + \text{CDT}$$

$$h_{\text{bomba}} = (4 \text{ m} - 0 \text{ m}) + \left( \frac{413\,685 \text{ pa} - 101\,325 \text{ pa}}{9\,783,14 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} \right) + \text{CDT}$$

$$h_{\text{bomba}} = (4 \text{ m}) + (31,92 \text{ m}) + \text{CDT}$$

$$CDT = H_{\text{fricción}} + H_{\text{menores}} + H_{\text{suavizadores}}$$

$$CDT = \frac{10,65(L_n)(Q_n)^{1,85}}{(C_n^{1,85})(D_n^{4,87})} + K_n \frac{v_n^2}{2g} + 13,30 \text{ m}$$

En tabla XXVI se muestra un resumen del cálculo de las pérdidas por fricción, presentando una suma al final de todas las pérdidas por cargas.

Tabla XXVI. **Pérdidas por fricción para sistema 1 de red propuesta**

Pérdida por fricción para sistema 1							
No.	Longitud m	Caudal gpm	caudal m <sup>3</sup> /s	Factor C	Diámetro pulg	Diámetro m	Pérdida m
a-b	88,00	500	0,03	130	6	0,15	1,83
b-c	32,00	500	0,03	130	6	0,15	0,67
c-d	91,20	100	0,01	130	3	0,08	2,83
d-e	68,60	88	0,01	130	3	0,08	1,68
c-ñ	32,30	400	0,03	130	4	0,10	3,21
ñ-f	20,00	240	0,02	130	3	0,08	3,13
f-j	29,50	80	0,01	130	1.99	0,05	4,46
f-g	72,00	160	0,01	130	3	0,08	5,32
g-h	8,60	10	0,00	130	2	0,05	0,03
g-i	44,00	114	0,01	130	3	0,08	1,74
k-L	28,00	48	0,00	130	2	0,05	1,61
m-n	28,00	56	0,00	130	2	0,05	2,14
ñ-o	28,00	32	0,00	130	2	0,05	0,76
Longitud total del sistema							570,20
Total pérdidas por fricción en tubería							29,40
Pérdidas menores o localizadas							14,26
Total pérdidas en metro lineal							13,30
Porcentaje de pérdida respecto longitud total							56,96
Longitud total del sistema							9,99 %

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

En la tabla XXVI se observa que, utilizando diámetros correctos, aun cuando los caudales son altos en algunas secciones, las pérdidas por fricción en los tramos son bastante bajas, por lo que se encontrará un 10 % aproximadamente de pérdida a razón de la longitud total y un promedio del 3,6 % de pérdida respecto cada sección que se observa en cada línea de la tabla, por lo que observando pequeños porcentajes se asegura una eficiencia en el sistema, con tubería que se encuentra a precios cómodos. Siguiendo los cálculos se obtiene lo siguiente.

$$h_{bomba} = (4 m) + (31,92 m) + 56,96 = 92,88 m$$

A continuación, se presentará el plano para el sistema número uno, en la figura 16 se observan valores de caudales, diámetros de tubería y longitudes. En la tabla XXVII se muestra las características del sistema, como presión, velocidades, alturas de estanques, entre otros.

#### **2.1.4.2. Sistema número dos**

En este sistema se mostrará la distribución de la red de tubería que alimentará la sección de compresores, el área de ramas, y toda la sección de preparación.



Tabla XXVII. Características para el sistema 2

Suministro de agua sistema 2.		
1	Presión en el punto inicial	101 325 pa
2	Velocidad del agua inicial	2,5 m/seg
3	Altura inicial del agua	0 m
5	Presión en el punto final	413 685 pa
6	Velocidad del agua final	2,5 m/seg
7	Altura final del agua	5 m

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_{bomba} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + CDT$$

$$h_{bomba} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + CDT - Z_1 - \frac{P_1}{\gamma} - \frac{V_1^2}{2g}$$

$$h_{bomba} = (Z_2 - Z_1) + \left( \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \right) + CDT$$

$$h_{bomba} = (5 \text{ m} - 0 \text{ m}) + \left( \frac{413 \text{ 685 pa} - 101 \text{ 325 pa}}{9 \text{ 783,14 } \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} \right) + CDT$$

$$h_{bomba} = (5 \text{ m}) + (31,92 \text{ m}) + CDT$$

$$CDT = H_{fricción} + H_{menores} + H_{suavizadores}$$

$$CDT = \frac{10,65(L_n)(Q_n)^{1,85}}{(C_n^{1,85})(D_n^{4,87})} + K_n \frac{v_n^2}{2g} + 13,30 \text{ m}$$

En tabla XXVIII se muestra un resumen del cálculo de las pérdidas por fricción, presentando una suma al final de todas las pérdidas por cargas.

Tabla XXVIII. **Pérdidas por fricción del sistema 2 de la red propuesta**

Pérdida por fricción para sistema 2							
No.	Longitud m	Caudal gpm	Caudal m <sup>3</sup> /s	Factor C	Diámetro pulg	Diámetro m	Pérdida m
a-b	35,20	300	0,02	130	4	0,10	2,05
b-k	22,00	26	0,00	130	1.5	0,04	1,65
b-c	17,00	262	0,02	130	4	0,10	0,77
c-d	53,00	257	0,02	130	4	0,10	2,32
d-e	18,00	13	0,00	130	1	0,03	2,70
d-f	51,30	162	0,01	130	3	0,08	3,88
i-j	13,70	60	0,00	130	2	0,05	1,19
Longitud total del sistema							210,20
Total pérdidas por fricción en tubería							14,56
Pérdidas menores o localizadas							5,26
Total pérdidas en metro lineal							13,30
Porcentaje de pérdida respecto longitud total							33,12
Longitud total del sistema							15,76 %

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Se observa que hay pérdidas muy bajas, debido a que se seleccionó el diámetro adecuado para la tubería, al igual que diámetros comerciales y a costos accesibles. El porcentaje de pérdida respecto a la longitud total es del 15,76 %, lo cual es un valor más alto que el sistema 1, ya que son tramos más cortos conteniendo caudales bastante significativos. De igual forma se tendrá seguro una presión de 60 psi. Por lo que la altura dinámica de la bomba a seleccionar será de.

$$h_{bomba} = (5 m) + (31,92 m) + 33,12 = 70 m$$

### 2.1.5. Selección de bombas para cada sistema

Para la selección de bombas primero se calcula la potencia requerida en el motor, por lo que se utiliza la siguiente ecuación.

$$P = \frac{\gamma * Q * h_b}{n}$$

P: potencia de la bomba (w)

Y: peso específico del fluido (N/m<sup>3</sup>)

Q: caudal de bombeo (m<sup>3</sup>/s)

H<sub>b</sub>: altura dinámica de bombeo (m)

Factor de arranque con valor de 1,2 (fr)

#### 2.1.5.1. Potencia requerida para los sistemas

$$P_{sistema1} = \frac{9\,783,14 \frac{N}{m^3} * 0,0315 \frac{m^3}{s} * 92,8\,m}{0,70} = 35\,747,60\,w * fr = 60\,hp$$

$$P_{sistema2} = \frac{9\,783,14 \frac{N}{m^3} * 0,02 \frac{m^3}{s} * 70\,m}{0,68} = 17\,120,50\,w * fr = 27,6\,hp$$

Estas potencias obtenidas son las necesarias para mover el fluido del punto inicial al punto final, sin embargo, este valor será una guía, ya que las bombas seleccionadas podrán tener mayor o menor potencia, esto dependerá del fabricante y de la bomba.

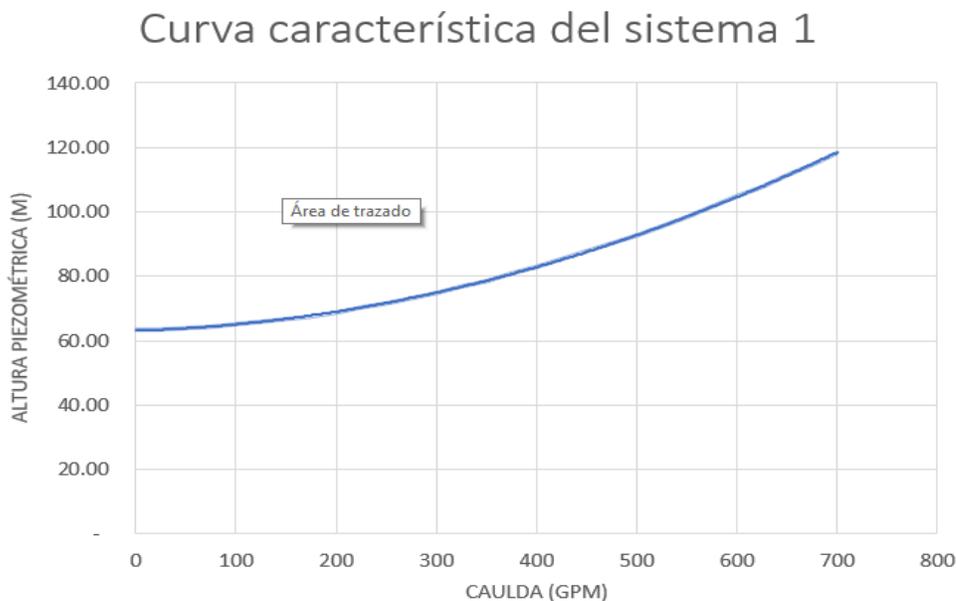
### 2.1.5.2. Curvas características de los sistemas

A continuación, se mostrarán las curvas características de los sistemas propuestos 1 y 2; figuras 17 y 18, respectivamente. La curva característica de un sistema representa la energía necesaria en un sistema hidráulico para impulsar un valor de caudal, esta información es útil para que los ingenieros de la empresa puedan manipular los sistemas de bombeo si así lo desean, además de que esta sección es importante para seleccionar los equipos hidráulicos. Se muestra la figura 17 y seguido de la ecuación que describe dicho gráfico.

### 2.1.5.3. Sistema 1

La figura 17 hace referencia al sistema 1 de la red de distribución.

Figura 17. **Curva característica del sistema 1**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

A continuación, se presenta la ecuación polinómica de grado 2, la cual modela el comportamiento de la curva característica para el sistema 1.

$$H(m) = 0,0001 q^2 + 0,0096 q + 63,136$$

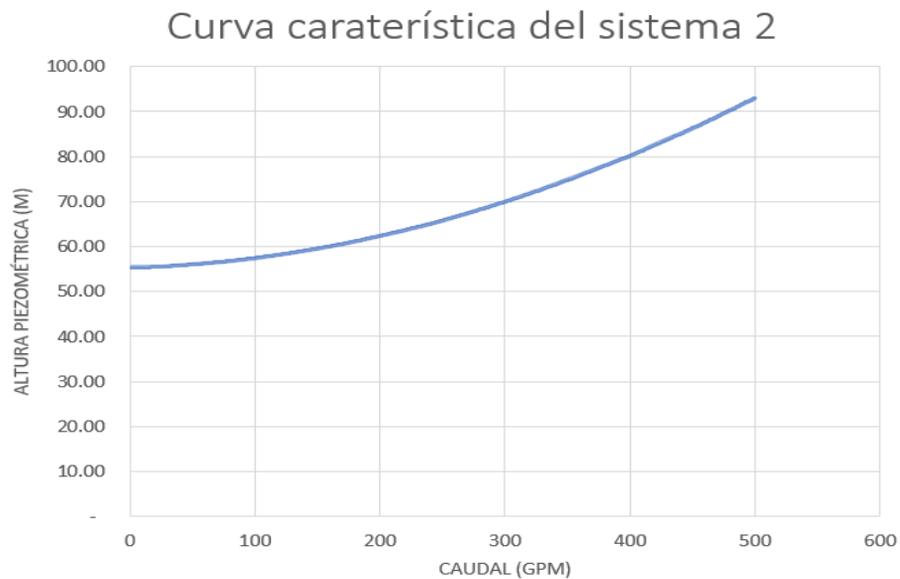
H: altura piezométrica metros

q: caudal galones por minuto

#### 2.1.5.4. Sistema 2

La información de la figura 18 hace referencia al sistema 1 de la red de distribución.

Figura 18. Curva característica del sistema 2



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

A continuación, se presenta la ecuación polinómica de grado 2, la cual modela el comportamiento de la curva característica para el sistema 2.

$$H(m) = 0,00013 q^2 + 0,0091 q + 55,258$$

H: altura piezométrica metros

q: caudal galones por minuto

#### **2.1.5.5. Bombas seleccionadas**

La búsqueda de la bomba que se pueda usar para ambos sistemas fue seleccionada de la marca Victoria Pumps, el modelo seleccionado fue M4P7502ME para el sistema 1 y 3P3002ME para el sistema 2.

En este apartado se describirá la comparación de las especificaciones requeridas con las especificaciones que las bombas poseen.

A continuación, en las figuras 19, 20, 21 y 22 se muestra la hoja técnica de las bombas, como una previsualización de las especificaciones, más adelante se presenta con detalle los criterios para su selección.

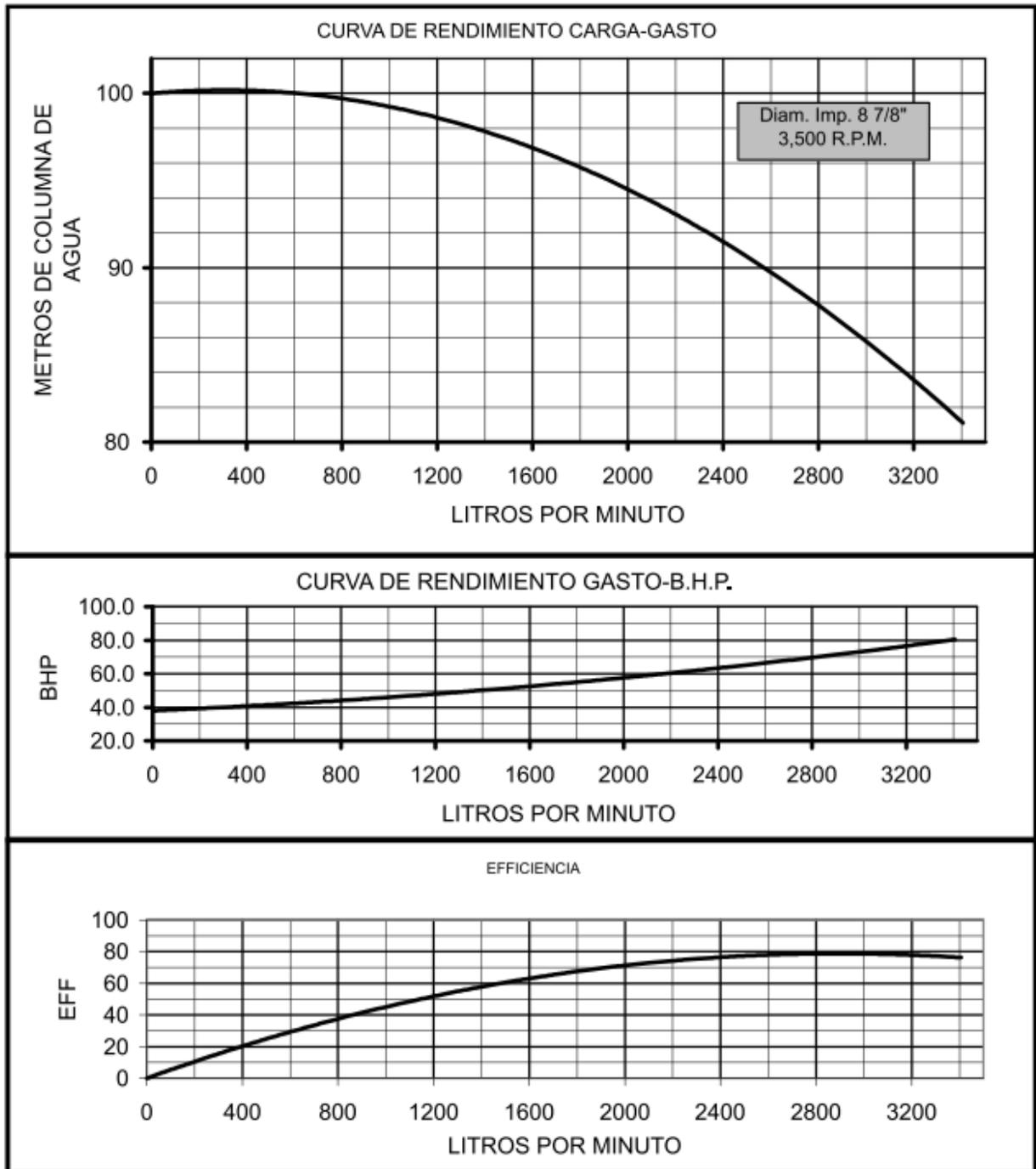
Figura 19. Rendimientos bomba modelo M4P7502ME

<b>MOD.</b>	<b>M4P7502ME</b>		
Gasto max	3407 lpm	RPM	3500
Carga max	100 mts	Ø IMP	8 7/8
Potencia	75 bhp		

TABLA DE RENDIMIENTOS															
Q lpm	0	757	946	1136	1325	1514	1703	2082	2271	2460	2650	2839	3028	3217	3407
H mts	100	99	98	98	97	97	96	96	94	93	90	88	84	83	80
Bhp	38.0	40.0	45.0	47.0	50.0	51.0	55.0	60.0	62.0	65.0	67.0	69.0	75.0	76.0	80.0
Eff %	0	35	43	55	58	61	65	71	73	76	75	77	81	81	76

Fuente: PUMPS Victoria. *Gran catálogo*. p. 32.

Figura 20. Ficha técnica, bomba Victoria, modelo M4P7502ME, sistema 1



Fuente: PUMPS Victoria. Gran catálogo. p. 33.

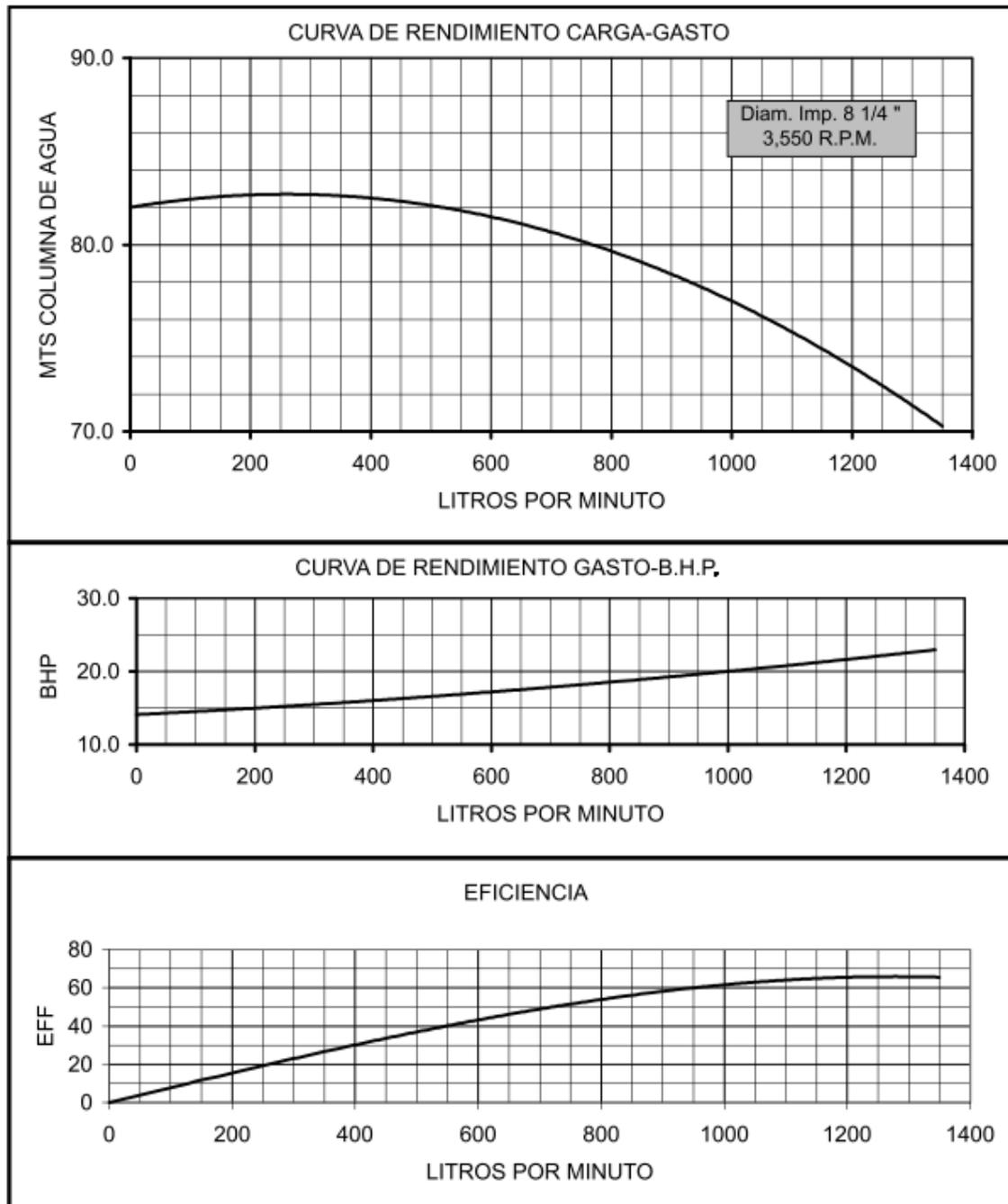
Figura 21. Rendimientos bomba, modelo 3P3002ME

<b>MOD.</b>	<b>3P3002ME</b>		
Gasto max	1350 lpm	RPM	3550
Carga max	82.0 mts	Ø IMP	8 1/4
Potencia	30 hp		

TABLA DE RENDIMIENTOS															
Q lpm	0	490	740	830	900	1025	1100	1220	1250	1270	1300	1320	1330	1340	1350
H mts	82.0	81.0	80.0	79.0	78.0	77.0	76.0	75.0	74.0	73.0	72.0	71.0	70.0	69.0	68.0
Bhp	14.1	16.4	17.8	18.5	19.8	20.5	21.0	21.4	21.8	22.3	22.5	22.9	23.1	23.2	22.3
Eff %	0	38	47	56	60	62	64	65	66	67	67	66	66	65	64

Fuente: PUMPS Victoria. *Gran catálogo*. p. 41.

Figura 22. Ficha técnica, bomba Victoria, modelo 3P3002ME, sistema 2



Fuente: PUMPS Victoria. Gran catálogo. p. 42.

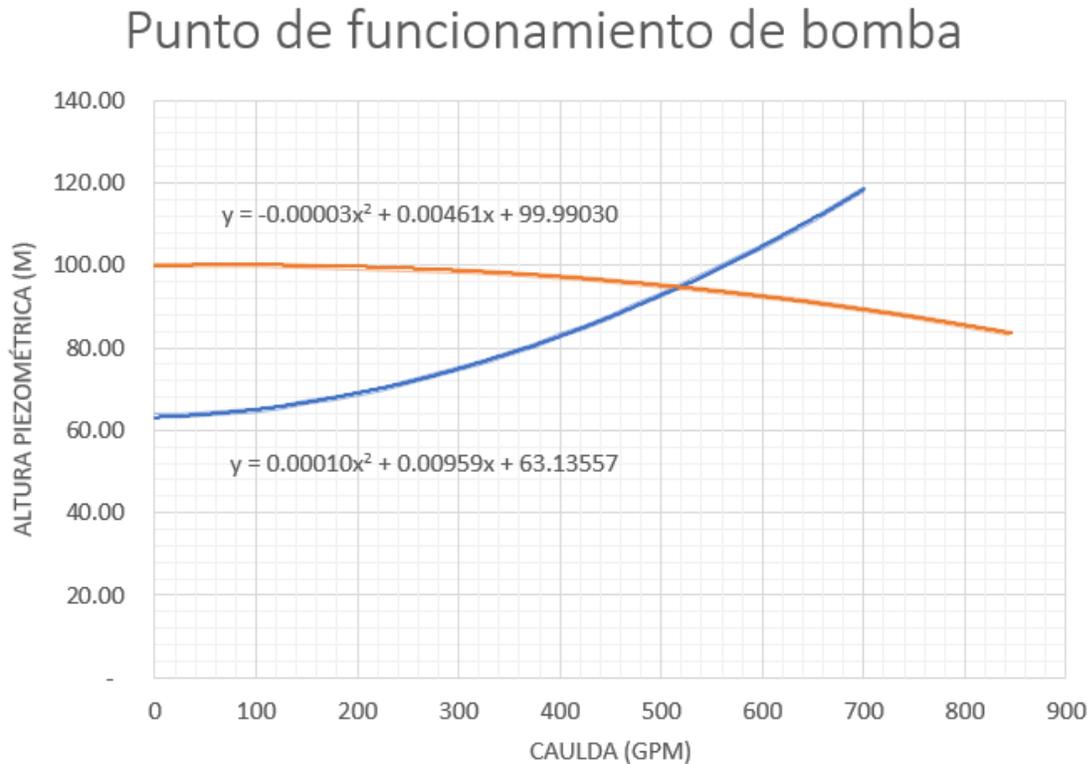
### **2.1.5.6. Bomba para el sistema 1**

La selección para el sistema 1 del sistema de bombeo será de la siguiente forma.

- Bomba con capacidad de suministrar 500 galones por minuto.
- Bomba capaz de lograr una altura piezométrica de 50 metros a el caudal requerido.
- Se instalará una sola bomba para trabajo y otra bomba igual en paralelo para hacer trabajos de mantenimiento sin parar producción.
- La bomba debe trabajar a una eficiencia de al menos 60 %.
- El NPSH requerido por la bomba debe ser menor a la presión de vapor del líquido para no tener problemas de cavitación.

Como primer paso se dibuja la curva característica de la bomba en el mismo plano que la curva del sistema, a continuación, se muestran dos gráficos, donde la intersección será el punto de funcionamiento de la bomba y a raíz de ese punto, determinar tanto la potencia del sistema, eficiencia, altura dinámica disponible, así como el caudal de operación.

Figura 23. **Gráfico del punto de funcionamiento de bomba seleccionada**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

En la figura 23 se visualiza en azul la curva del sistema 1 y en color naranja la curva característica de la bomba; por lo que el punto ideal de funcionamiento de la bomba es la intersección entre esas dos curvas. Para obtener el dato exacto del punto de funcionamiento.

Se procederá a igualar las dos funciones que modelan las curvas, las cuales se visualizan en la figura 23 y se resolverá para el valor de caudal denominado con la letra q, posterior se evaluará el valor de q obtenido, en cualquiera de las dos funciones para obtener H.

$$(-3 * 10^{-5})q^2 + (0,00461)q + 99,99 = (1 * 10^{-4})q^2 + (0,00959)q + 63,13$$

Simplificando la expresión y evaluándose a cero se observa que es una ecuación cuadrática con dos valores posibles de q.

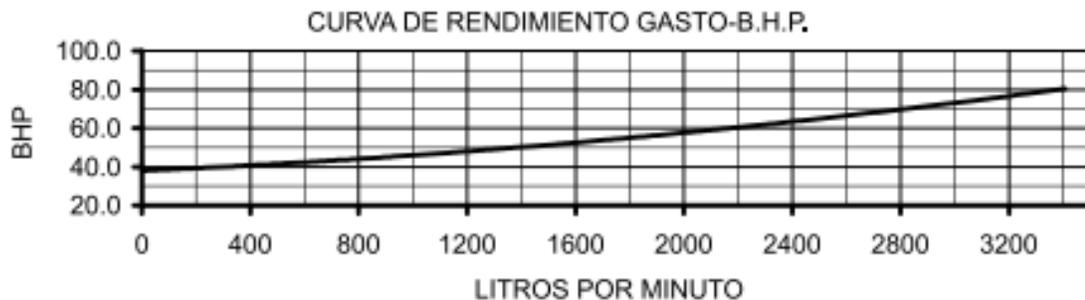
$$1,3 * 10^{-4}q^2 + 4,98 * 10^{-3}q - 36,85 = 0$$

El valor obtenido razonable de las dos raíces de la ecuación es de 513,60.

$$q = 513,60 \text{ gpm} ; H = 94,44 \text{ m}$$

Se observa que se tendrá de un caudal a un mayor del necesario, aunque no sea por mucho, se abastecerá satisfactoriamente toda la línea del sistema 1, y con una altura piezométrica suficiente de igual forma para que el agua llegue hasta el final con la presión suficiente. Ahora es posible evaluar ese valor de caudal a utilizar en la figura 24 y 25 para obtener la potencia de la bomba a seleccionar y la eficiencia a la que trabajará la bomba, con eso se determinará si conviene seleccionar un equipo que se quiera utilizar.

Figura 24. **Curva de potencia consumida de la bomba sistema 1**



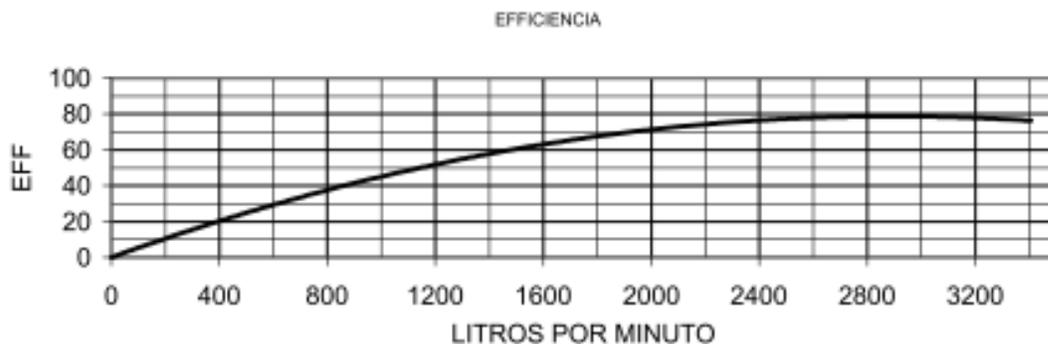
Fuente: PUMPS Victoria. *Gran catálogo*. p. 33.

En la figura 24 se puede observar la curva que el fabricante comparte en su catálogo donde involucra el gasto o el caudal que la bomba ofrecerá, acompañado en el eje vertical con un consumo de potencia en BHP, caballos de fuerza de caldera, se puede fácilmente convertir a caballos de fuerza hp. En este caso se observa que 513 60 galones por minuto equivalen más o menos a 2 000 litros por minuto, por lo que el equipo estará consumiendo una potencia en HP aproximada de.

$$hp_{bomba}(2\ 000\ l) = 60\ hp$$

Esta potencia será suficiente para que la bomba mueva sus piezas mecánicas, es decir, vencer la potencia al freno y estará segura en los arranques, ya que se necesita mayor potencia en el arranque para no dañar el motor eléctrico.

Figura 25. **Curva de rendimiento de la bomba sistema 1**



Fuente: PUMPS Victoria. *Gran catálogo*. p. 33.

En esta curva se observa la eficiencia de la bomba en función del caudal que esta puede brindar de forma variable, por lo que se observa que de igual forma se tendrá una eficiencia para 2 000 litros por minuto, como se dijo anteriormente, equivalente para el caudal del punto de funcionamiento de

513,60 gpm, así que se procede a evaluar la curva para obtener la eficiencia (EFF).

$$EFF (1\ 200\ lts) = 70\ \%$$

Se observa que la bomba trabajará con una eficiencia bastante aceptable, por lo general, las bombas centrífugas trabajan con eficiencias hasta el 75 % o menos, para una mejor eficiencia se puede ver catálogos de bombas sumergibles, pero por razones de mantenimiento y el trabajo que estas deben realizar, una bomba centrífuga será una muy buena opción.

#### **2.1.5.7. Bomba para el sistema 2**

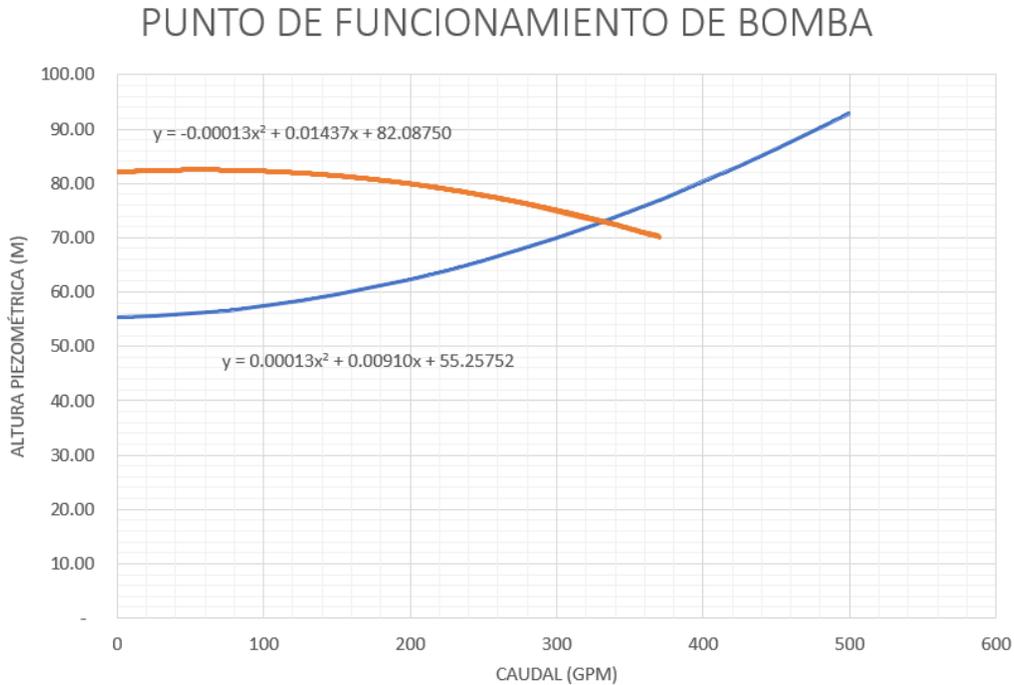
La selección para el sistema 2 del sistema de bombeo será de la siguiente forma.

- Bomba con capacidad de suministrar 800 galones por minuto.
- Bomba capaz de lograr una altura piezométrica de 75 metros a el caudal requerido.
- Se instalará una sola bomba para trabajo y otra bomba igual en paralelo para hacer trabajos de mantenimiento sin parar producción.
- La bomba debe trabajar a una eficiencia de al menos 60 %.
- El NPSH requerido por la bomba debe ser menor a la presión de vapor del líquido para no tener problemas de cavitación.

Como primer paso hay que dibujar la curva característica de la bomba en el mismo plano que la curva del sistema, a continuación, se muestran dos gráficos juntos, donde la intersección será el punto de funcionamiento de la bomba, y a

raíz de ese punto, determinar tanto la potencia del sistema, eficiencia, altura dinámica disponible, así como el caudal de operación.

Figura 26. **Punto de funcionamiento de bomba seleccionada**



Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

En la figura 26 se visualiza en azul la curva del sistema 2 y en color naranja la curva característica de la bomba; por lo que el punto ideal de funcionamiento de la bomba es la intersección entre esas dos curvas. Para obtener el dato exacto del punto de funcionamiento. Se procederá a igualar las dos funciones que modelan las curvas y se resolverá para el valor de cauda, posterior se evaluará el valor de q en cualquiera de las dos funciones para obtener H.

$$(-1,3 * 10^{-4})q^2 + (0,01437)q + 82,087 = (1,3 * 10^{-4})q^2 + (0,0091)q + 55,25$$

Simplificando la expresión y evaluándose a cero, se observa que es una ecuación cuadrática con dos valores posibles de Q.

$$2,6 * 10^{-4}q^2 - 5,27 * 10^{-3}q - 26,83 = 0$$

El valor obtenido razonable de las dos raíces de la ecuación es de 331,53.

$$q = 331,53 \text{ gpm} ; H = 72,56 \text{ m}$$

De igual forma, en las figuras 27 y 28 se utiliza el valor de caudal para posicionar en los diferentes gráficos y obtener valores de potencia de la bomba que se utilizará y eficiencia de la bomba para el sistema número dos.

Figura 27. **Curva de potencia consumida de la bomba sistema 2**



Fuente: PUMPS Victoria. *Gran catálogo*. p. 42.

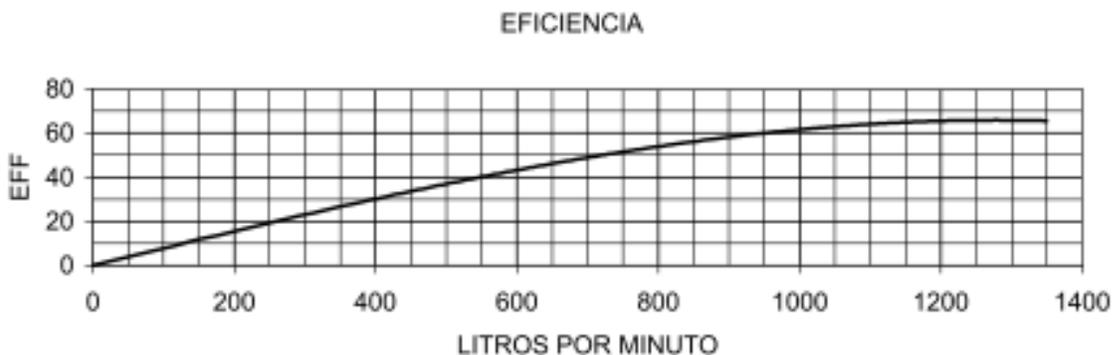
En la figura 27 se puede observar la curva que el fabricante comparte en su catálogo donde involucra el gasto o el caudal que la bomba ofrecerá, acompañado en el eje vertical con un consumo de potencia en BHP (caballos de fuerza de caldera), se hará la conversión a caballos de fuerza (hp). En este caso se observa que 331,53 galones por minuto equivalen aproximadamente a

1 250 litros por minuto, por lo que el equipo estará consumiendo una potencia en HP aproximada de.

$$hp_{bomba}(1\ 250\ l) = 25\ hp$$

Esta potencia será suficiente para que la bomba mueva sus piezas mecánicas, es decir vencer la potencia al freno y estará segura en los arranques, ya que se necesita mayor potencia en el arranque para no dañar el motor eléctrico, en el apartado de potencia requerida que está en la sección de fase técnica, se observa que se requiere 27,5 hp, sin embargo, ese valor ya tiene agregado el factor de seguridad, por lo que se está en un valor bastante cercano y se tiene la seguridad que esta bomba no dará problemas respecto a lo que se refiere a potencia.

Figura 28. **Curva de rendimiento de la bomba sistema 2**



Fuente: PUMPS Victoria. *Gran catálogo*. p. 42.

En la figura 28 se muestra la eficiencia de la bomba en función del caudal que esta puede brindar de forma variable, por lo que se observa que de igual forma se tendrá una eficiencia para 1 250 litros por minuto, como se dijo

anteriormente, equivalente para el caudal del punto de funcionamiento de 331,53 gpm, así que se procede a evaluar la curva para obtener la eficiencia (EFF).

$$\text{EFF (1 250 ts)} = 68 \%$$

La bomba trabajará con una eficiencia bastante aceptable. En la tabla XXIX se muestra el resumen de los datos más importantes de la bomba.

Tabla XXIX. **Tabla de resumen de especificaciones de la bomba**

Bomba sistema 1	
Marca	Victoria Pumps
Modelo	M4P7502ME
Diámetro del impulsor	8-7/8"
Caudal disponible	0-900 galones por minuto
TDH disponible	82-100 metros
Potencia motora	Hasta 75 hp
Eficiencia	0 %-77 %
RPM	3 500 RPM
Punto de operación	Q=513,60 gpm; H=94,44 m
Bomba sistema 2	
Marca	Victoria Pumps
Modelo	3P3002ME
Diámetro del impulsor	8-1/4"
Caudal disponible	0-350 gpm
TDH disponible	70-82 metros
Potencia motora	Hasta 25 hp
Eficiencia	0 %-70 %
RPM	3 550 RPM
Punto de operación	Q=331,53 gpm H=72,56 m

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Los datos mostrados en la tabla XXIX son los más requeridos cuando se necesita saber sobre el funcionamiento de una bomba, sin embargo, los

diámetros de la tubería de succión y descarga, polos del motor, fases del motor, velocidad nominal de la bomba, entre otras especificaciones que se deben tener.

#### **2.1.6. Costo por suavizado propuesto**

El nuevo costo de suavizado fue tomado por cotizaciones y por precio de mano de obra de los trabajadores que se tomarán en cuenta, se observa en la tabla XXX, una proyección del costo bastante fiel y adaptable a la propuesta realizada, por lo que el ahorro proyectado deberá de ser tomado muy en cuenta, ya que puede lograr una mejor eficiencia en el proceso de suavizado y un mayor ahorro.

Tabla XXX. Costo de suavizado de agua de propuesta

Costo de suavizado de agua anual propuesto, Quetzales			
Descripción	Cantidad/año	Precio unitario	Total
Consumo energético de bombas para suavizadores	0,56 Mw/año	Q0,77 /kwh	Q427 541,13
Resina catiónica C100 para veintitrés suavizadores	75 pies <sup>3</sup>	Q730 /pie <sup>3</sup>	Q54 750
Mano de obra para dos mantenimientos de suavizador, dos personas para mantenimientos de quince suavizadores.	600 hrs	Q13,30 /hrs	Q7 980
Cuatro operadores para quince suavizadores	4 operadores/año	Q5 000	Q20 000
Diez kits de medición de dureza para seis meses.	20 kits/año	Q3 200	Q32 000
Sal industrial para regeneración de suavizadores	972 lbs/año	Q0,44 /lb	Q427 680
<b>Total, costo de suavizado</b>			<b>Q969 951,13</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

El costo de suavizado de esta propuesta está en el valor de Q969 951,13; el cual es un valor bastante más económico que el actual calculado en el apartado de la fase de investigación, en la tabla XXXI se observa la reducción de costos en todos los apartados que están involucrados para lograr el tratamiento del agua, tanto en energía eléctrica se ve una reducción significativa, con la eficiencia del sistema mejorado, el uso de menor cantidad de bombas hidráulicas, y logrando mejorar en la capacidad de caudal disponible en el día, mejores medidores, equipo actualizado y todo aquello que deba llevar un mejor control y una mejor calidad será de gran ayuda para lograr que el sistema logre la eficacia

y la eficiencia deseada. Para obtener mejoras en la producción y mayores ganancias en lo que respecta a la empresa.

Tabla XXXI. **Comparativo económico de red actual versus red propuesta**

<b>Comparativo económico de red actual y propuesta</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Total, actual</b>	<b>Total, propuesta</b>	<b>Ahorro</b>	<b>Porcentaje</b>
Energía eléctrica	Q1 121 497,60	Q427 541,13	Q693 956,47	38,12
Resina catiónica C100	Q155 875,00	Q54 750,00	Q101 125,00	35,12
Mano de obra para mantenimiento	Q12 047,61	Q7 980,00	Q4 067,61	66,24
Operadores de suavizadores	Q480 000,00	Q20 000,00	Q460 000,00	4,17
Químicos reactivos	Q38 400,00	Q32 000,00	Q6 400,00	83,33
Sal industrial	Q1 019 207,75	Q427 680,00	Q591 527,75	41,96
	<b>Q2 827 027,96</b>	<b>Q969 951,13</b>	<b>Q1 857 076,83</b>	<b>34,31</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

En la tabla XXXI se visualizan los ahorros, tanto en diferencia como un monto en moneda y como un porcentaje, por lo que las principales optimizadas en la red propuesta en la fase técnico profesional son, la energía eléctrica, volumen de resina c-100 y la sal industrial, se observan altos porcentajes de ahorro, logrando aún más importante una mejor distribución y calidad de agua.

### **3. FASE DE DOCENCIA**

#### **3.1. Capacitación para el personal de H3**

En la empresa se encuentra el personal dedicado al oficio del control de abastecimiento de agua suave, ellos se ocupan del encendido, apagado de las bombas, de la regulación de los caudales, regeneración de los suavizadores y pequeños mantenimientos a la tubería que no requiera ningún conocimiento especializado. Por lo que es de suma importancia que el personal que se encarga de este oficio, esté capacitado en los conocimientos básicos hidráulicos y de la operación de la maquinaria hidráulica que poseen.

La fase de docencia se centró en darle al personal de H3 el conocimiento necesario por medio de capacitaciones, donde se incluyó material de lectura, examen y reforzamiento personalizado, si así lo requería o solicitaba cada persona individual, por lo que al final de realizar esta fase, exitosamente se obtuvo un aprendizaje, mejor control y operación de la maquinaria hidráulica.

La fase docencia se dividió en tres partes: planificación, evaluación y capacitación.

##### **3.1.1. Planificación**

Se refiere a la calendarización del alcance de las capacitaciones, es decir, se planteó hasta dónde se abarcaría en conceptos, prácticas y evaluaciones; por lo que se estableció un periodo de tiempo para lograr el objetivo y así darle un periodo de tiempo con una fecha a cada uno.

En la tabla XXXII se presenta la calendarización de las capacitaciones que se realizaron.

**Tabla XXXII. Calendarización para la planificación de las capacitaciones a personal de H3**

<b>Cronograma para impartir capacitación a personal operativo</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha final</b>
C.1	Evaluación de conocimiento general	02/02/2020	03/02/2020
C.2	Introducción de conocimientos básicos de hidráulica	04/02/2020	05/02/2020
C.2.1	Evaluación de conocimientos básicos de hidráulica	06/02/2020	06/02/2020
C.3	Bombas hidráulicas y redes de distribución		
C.3.1	Teoría de bombas hidráulicas	10/02/2020	11/02/2020
C.3.2	Operaciones de las bombas hidráulicas	12/02/2020	12/02/2020
C.3.3	Mantenimientos de las bombas hidráulicas	13/02/2020	13/02/2020
C.3.4	Condiciones óptimas para una red eficiente	14/02/2020	14/02/2020
C.3.5	Evaluación de bombas hidráulicas y redes de distribución	17/02/2020	18/02/2020
C.4	Suavizadores de agua		
C.4.1	Teoría de suavizadores de agua	19/02/2020	19/02/2020
C.4.2	Operación y mantenimiento de suavizadores de agua	20/02/2020	20/02/2020
C.4.3	Evaluación de suavizadores de agua	21/02/2020	21/02/2020
C.5	Evaluación final	25/02/2020	25/02/2020

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

### **3.1.2. Evaluación**

Se trabajó con el objetivo de verificar el nivel de conocimiento del personal encargado del sistema de distribución de agua de la empresa, por lo que se realizó una evaluación antes de las capacitaciones, para así conocer la forma en la que se debe impartir la capacitación y a qué nivel se puede llevar. La evaluación se le dio a 10 personas, las cuales forman el equipo de H3, en la

siguiente tabla se observa los resultados de la evaluación, en la figura 30 se presenta la evaluación que se pasó al personal.

Figura 29. Evaluación de conocimientos básicos para personal de H3

			<b>Evaluación de conceptos básicos para personal de H3</b>		
Lugar y fecha: Guatemala                      de                      de					
Nombre:					
Edad:					
Cargo:					
EN ESTA EVALUACIÓN SE LE PREGUNTARÁ SOBRE ALGUNOS CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE HIDRÁULICA Y BOMBAS CENTRÍFUGAS, RESPONDA CON UNA X EN EL ESPACIO EN BLANCO A LA DERECHA LA RESPUESTA CORRECTA					
Pregunta #1: Relación entre la masa y el volumen de una sustancia o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón.					
Densidad		masa		peso	
Pregunta #2: Magnitud que expresa la relación entre el peso de un cuerpo por unidad de volumen y cuya unidad en el sistema internacional es el newton por metro cúbico (N/m <sup>3</sup> ).					
Peso		Peso específico		Volumen específico	
Pregunta #3: Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie y cuya unidad en el sistema internacional es el pascal y en el sistema inglés psi.					
Newton		Presión		Volumen específico	
Pregunta #4: Medida de su resistencia de un fluido a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.					
Capilaridad		Pegabilidad		Viscosidad	

## Continuación de la figura 29

Pregunta #5: Es el volumen de fluido que pasa por una superficie dada en un tiempo determinado, usualmente representado con la letra “Q” y cuya unidad en el sistema internacional son los metros cúbicos por minuto (m <sup>3</sup> /min).		
Caudal	Flujo	Continuidad
Pregunta #6: Está determinada por la cantidad de sales de calcio y magnesio que contenga. Mientras más sales de calcio y magnesio tengan, mayor será su dureza, generalmente su unidad son las partículas por millón (ppm), equivalente a miligramo por litro (mg/l).		
Contaminabilidad	Dureza	Mineralidad
Pregunta #7: Es aquella agua, que, mediante un proceso se ha eliminado la dureza (sales de calcio y magnesio) con el fin de evitar incrustaciones en los equipos.		
Agua suave	Agua pura	Agua dulce
Pregunta #8: Máquina generadora que transforma la energía mecánica producida por el movimiento de un eje, transmitida hacia un impulsor, en el cual fluye un líquido incompresible y transforma esa energía mecánica en energía hidráulica, ideal para impulsar fluidos a grandes alturas y largas distancias.		
Bombas hidráulicas	Turbinas hidráulicas	Energímetro
Pregunta #9: Aumento repentino de la presión causado por un cambio rápido en la velocidad de caudal de la tubería. Este fenómeno se denomina así porque los aumentos repentinos de la presión suelen ir acompañados de un ruido semejante al que haría la tubería si se golpea con un martillo y es de importancia el controlarlo para no provocar daños y roturas en la tubería.		
Martillazo	Golpe de ariete	Golpe de mazo
Pregunta #10: Al encender y apagar una bomba hidráulica, ¿se debe hacer con la válvula cerrada y posteriormente se debe ir apresurando el paso del flujo gradualmente?		
Verdadero	Falso	
Pregunta #11: El ruido cíclico de golpeteo en el impulsor de la bomba hidráulica, el cual es dañino y es provocado por burbujas de vapor de agua que se generan dentro de la bomba hidráulica, ¿cómo se le llama?		
Cavitación	Vaporización	Explosión hidráulica

Fuente. elaboración propia, empleando Excel 2019.

En la tabla XXXIII se observan las calificaciones de las diez personas evaluadas, obteniendo una media de calificaciones de 35 puntos de cien, por lo que es un valor bajo para la labor que desempeñan, por esta razón, se debió profundizar más en el nivel de estudio de los trabajadores para realizar las capacitaciones de una manera que pudieran retener la información y entenderla.

Tabla XXXIII. **Calificaciones evaluación a H3**

Persona No.	Calificación
1	30
2	20
3	40
4	50
5	40
6	20
7	30
8	30
9	60
10	30

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

En la tabla XXXIV se muestra el nivel de escolaridad de cada persona.

Tabla XXXIV. **Nivel de escolaridad de los evaluados**

Persona No.	Nivel de escolaridad
1	Secundaria
2	Secundaria
3	Primaria
4	Bachiller
5	Secundaria
6	Primaria
7	Secundaria
8	Secundaria

Continuación de la tabla XXXIV.

9	Bachiller
10	Primaria

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Con estos resultados mostrados en la tabla XXXIV, es evidente que varios de ellos tienen un nivel de escolaridad bajo, tomando en cuenta que la mayoría son adultos mayores de 35 años de edad; por lo que es necesario realizar una capacitación sencilla, entendible, para lograr el objetivo de que ellos entiendan qué están operando y la necesidad de su buen trabajo para tener un sistema eficiente y eficaz. Al final de la capacitación se volverá a pasar la misma evolución esperando mejores punteos.

### **3.1.3. Capacitación**

En esta sección se dan a conocer los resultados de la capacitación y una reseña de la experiencia y las mejoras vistas al pasar de los días luego de la capacitación. Para mostrar de forma resumida los datos, se mostrará la tabla con los temas planificados a enseñar, con el agregado de la media de las notas realizada en cada tema general. Asimismo, cómo la evaluación final comparada con la evaluación inicial, donde se visualizará la mejora en el conocimiento de los empleados del departamento de H3.

En la tabla XXXV se muestra la puntuación de las evaluaciones en el proceso de capacitación.

Tabla XXXV. **Punteos de las evaluaciones en proceso de capacitación**

<b>Medias de punteos de evaluaciones</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Media</b>
Evaluación de conceptos básicos de hidráulica	70
Evaluación de bombas hidráulicas y redes de distribución	50,5
Evaluación de suavizadores de agua	60,5

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

En el proceso de capacitación se pudo percibir el deseo de aprender por parte del personal de H3, su colaboración y participación fue notorio, se sintieron cómodos al saber que necesitaban aprender más y que hay un camino para mejorar en su trabajo, por lo que, aunque no se obtuvieron notas sumamente altas en las evaluaciones durante el proceso, se asegura que el personal entendió nuevos conceptos, encontraron razones a algunos problemas que tuvieron en algún momento de su trabajo y que posteriormente pusieron en práctica los conocimientos, así como algunos consejos que se les impartió.

El conocimiento que se obtuvo en contra del que se tenía al principio en el personal de H3, es comprobable en las dos pruebas que se les dieron, la misma prueba al principio y al final. En la tabla XXXVI se presentan los resultados iniciales y finales.

Tabla XXXVI. **Notas de evaluación inicial y final**

Persona No.	Calificación inicial	Calificación final	Porcentaje de mejora
1	30	80	37,50
2	20	60	33,33
3	40	60	66,67
4	50	90	55,56
5	40	80	50,00
6	20	60	33,33
7	30	60	50,00
8	30	70	42,86
9	60	80	75,00
10	30	70	42,86
<b>Media</b>	<b>35</b>	<b>71</b>	<b>48,71</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2019.

Los resultados de la tabla XXXVI son muy satisfactorios, con un aumento de 48 % en el conocimiento de los conceptos de hidráulica y es importante en ellos, ya que para personas que no tuvieron suficiente escuela y a la edad que tienen, es difícil para ellos el comprender, retener y aplicar la información que se les imparte, ya que su vida ha sido muy empírica y, principalmente, su trabajo se vuelve totalmente una rutina sin saber por qué realizan las acciones que hacen.

Además de mostrar números, se mencionaron algunas mejoras que se lograron visualizar en los días próximos después de finalizada la capacitación. Algunas de estas mejoras son.

- El equipo de H3 evalúa las bombas escuchando, oliendo y sintiendo el equipo en funcionamiento.

- El equipo enciende el equipo hidráulico de forma correcta y lo apaga de forma correcta.
- Por mucho tiempo se escuchaba un frecuente golpe de ariete, el cual era por el mal encendido de la bomba, este quedó erradicado,
- Mejores mediciones en la dureza de agua.
- Mejor preparación de salmuera.
- Reducción en la dureza de la línea de suavizado.
- Mejora de tiempos de regeneración al regenerar de forma correcta el suavizador.
- Personal tomando decisiones que realmente fueron coherentes y correctas.

Esta la fase de docencia, que tiene por objetivo el capacitar y ayudar a mejorar y empoderar al personal de H3, ha sido de gran ayuda, no solo por la capacitación impartida, sino por el mismo personal que lo tomaron de forma seria y que ahora están dando un mejor aporte y un mayor valor a la empresa.



## CONCLUSIONES

1. La red propuesta brindada en el texto es un 55 % más eficiente en términos de manejo de pérdidas hidráulicas.
2. Cada psi de pérdida que se tiene dentro de la red equivale alrededor de Q120,00, por lo que la propuesta es económicamente beneficiaria a la empresa.
3. La red propuesta abastece el total de la necesidad de consumo de agua suavizada actual.
4. El mayor consumo energético en una red de agua lo genera el motor de las bombas hidráulicas; la propuesta de red utiliza un motor suficiente para el abastecimiento total de agua suave a la maquinaria, reduciendo el consumo energético y, por tanto, el gasto económico en un 34 %.
5. El análisis de la cantidad de resina catiónica necesaria, en función del caudal de consumo y la dureza del agua estudiada, reduce a la mitad de volumen a de resina a utilizar, disminuyendo los gastos económicos directamente proporcional y, por ende, gastos que se pueden evitar.
6. La propuesta de regeneración y preparación de los suavizadores brindará y asegurará la vida útil de la resina catiónica hasta 4 años más de la utilizada actualmente.

7. Un control automatizado de regeneración será la mejor opción para lograr la mayor eficiencia de los suavizadores.
8. La capacitación constante de los operadores de H3 ayudó a que su conocimiento subiera un 48 %, por ende, las mejoras en su trabajo y control del sistema de operación de maquinaria hidráulica y suavizadores fueron notables.
9. El problema actual de la empresa, en términos hidráulicos, es que el consumo ha bajado respecto la producción y el bombeo permanece constante, así como un desorden en la distribución de tuberías y tamaños de diámetros provoca al equipo hidráulico la necesidad de realizar mayor trabajo, por lo que, aunque se tengan muchas bombas en una red, la potencia para desplazar el agua puede estar muy limitada, provocando que los motores se quemen y se deban rebobinar en pequeños periodos de tiempo, así como sobrecalentamiento, golpes de ariete por velocidades muy altas en la tubería.

## RECOMENDACIONES

1. Colocar flujómetros en los tramos principales de la tubería principal, para corregir diámetros de tuberías que están sobredimensionados, ya que provocan una carga alta a las bombas hidráulicas. Responsabilidad para el gerente de Mantenimiento.
2. Investigar el consumo necesario en cada proceso y máquina, así, cualquier corrección necesaria en temas hidráulicos pueda ser corregido y estar abasteciendo con datos mucho más precisos a la planta de preparación y teñido. Responsabilidad del gerente de Producción
3. Aumentar la cantidad de sal por pie cúbico de resina catiónica en los suavizadores de 7,5 lbs/pie<sup>3</sup> a 9 lbs/pie<sup>3</sup>. A su vez, preparar la salmuera con 227 litros de agua y 9 libras de sal disueltas para mejorar el rendimiento de la resina catiónica y disponer de más volumen de agua suave por cada regeneración de cada suavizador. Responsabilidad del supervisor de Control de Calidad de Agua.
4. Disminuir la velocidad del agua en la entrada 1 de planta 2, de 6 m/s en la tubería principal a 2,5 m/s, ampliando el diámetro de la tubería de 4" a 6". Responsabilidad del personal de distribución de agua.
5. Colocar filtro tipo Strainer a la entrada de cada máquina y cada 10 m en tubería principal, para atrapar contaminantes existentes en la red y sedimentos que afectan a la producción. Responsabilidad del personal de mantenimiento.

6. Colocar filtros tipo canasta en la entrada de los suavizadores con el fin de atrapar contaminantes mayores, como hojas, basura, sólidos mayores que se ven atrapados entre la resina al momento de hacer mantenimiento, esto ayudará a alargar la vida útil de la resina a tener una mayor capacidad de suavizado y evitar otros problemas que esto pueda generar.
  
7. Brindar por medio de profesionales especializados en el área de bombeo y calidad de agua industrial, capacitaciones al personal de mantenimiento y operarios de toda la maquinaria hidráulica, específicamente en temas de funcionamiento de maquinaria hidráulica, funcionamiento de las diferentes resinas y consecuencias sobre un mal manejo del equipo, falta de mantenimiento en el tiempo necesario. Dirigida la responsabilidad al Departamento de Recursos Humanos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BAHAMONDES Pedro; OSWALD Walter. *Aguas de alimentación de calderas*. Perú: ACHS. 2015. 18 p.
2. CASTELLANOS, José; J. Kenneth. *Bombas, selección, uso y mantenimiento*. Buenos Aires: McGraw-Hill. 1998. 379 p.
3. GOOGLE maps. *Ubicación de la empresa*. [en línea]. <<https://goo.gl/maps/HiFXXr8NuTbmuM3ZA>>. [Consulta: 5 de mayo de 2020].
4. MOTT, Robert, et. al. *Mecánica de fluidos*. 6a ed. México, D. F.: Pearson. 2006. 644 p.
5. PUMPS, Victoria. *Gran catálogo*. Guatemala: Victoria Pumps. 2018. 47 p.
6. PURIKOR S. A. *Cálculo de suavizadores de agua*. Guatemala: Ingeniería Purikor. 2018. 18 p.
7. RAE. *Diccionario de real academia española – Asociación de Academias de la Lengua Española*. [en línea]. <<https://www.rae.es/>>. [Consulta: 7 de mayo de 2020].

8. RAMÍREZ, Enrique; RUÍZ, Anayeli; TREJO, Owaldo. *Reutilización sana y ahorro de agua en un edificio multifamiliar*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional. 2008. 175 p.
9. TENNAT S. A. *Inicio e información*. [en línea]. <<https://liztex.com> >. [Consulta: 5 de mayo de 2020].
10. U. S. Army Corp of Engineers. *Liquid Process Piping*. 2a. ed. Washington D. C.: Department of Army. 2002. 37 p.
11. VILORIA, José. *Neumática, hidráulica y electricidad aplicada*. España: Thomson Paraninfo. 2014. 219 p.
12. VILORIA, José; ORDOÑEZ, Jennifer. *Prontuarios de hidráulica industrial*. España: B&N. 2001. 242 p.

## APÉNDICES

### Apéndice 1. Capacitación a personal de calidad de agua



Fuente: elaboración propia, empleando información de la empresa Tennat S. A., salón de audiovisuales.

Apéndice 2. **Oficinas de Gerencia y Recursos Humanos**



Fuente: elaboración propia, empleando información de la empresa Tennat S. A.

Apéndice 3. **Exterior de planta de preparación y teñido**



Fuente: elaboración propia, empleando información de la empresa Tennat S. A.

Apéndice 4. **Interior de planta de preparación y teñido, área de teñido por agotamiento**



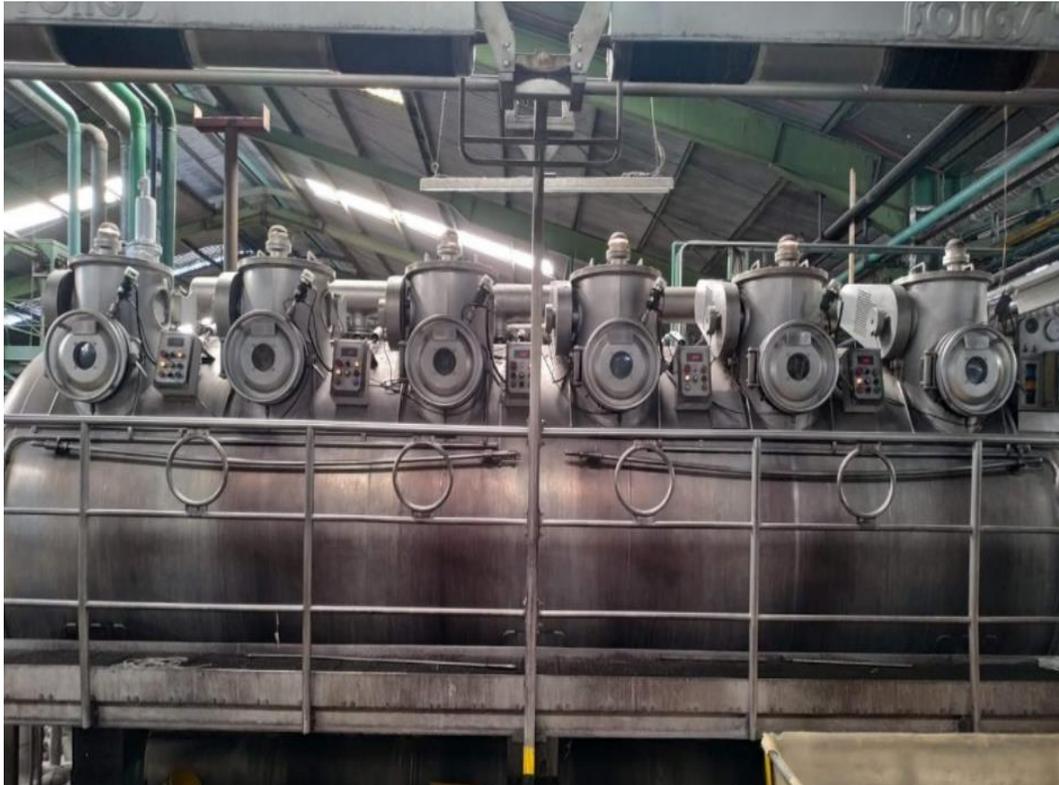
Fuente: elaboración propia, empleando información de la empresa Tennat S. A.

Apéndice 5. **Interior de planta de preparación y teñido, área de teñido de hilo**



Fuente: elaboración propia, empleando información de la empresa Tennat S. A.

Apéndice 6. **Interior de planta de preparación y teñido, maquinaria fong**



Fuente: elaboración propia, empleando información de la empresa Tennat S. A.

Apéndice 7. **Interior de planta de preparación y teñido, área de chillers para enfriamiento de agua**



Fuente: elaboración propia, empleando información de la empresa Tennat S. A.

Apéndice 8. **Área de bombeo de agua para planta de preparación y teñido**



Fuente: elaboración propia, empleando información de la empresa Tennat S. A.

Apéndice 9. **Área de suavizadores de agua para planta de preparación y teñido**



Fuente: elaboración propia, empleando información de la empresa Tennat S. A.

