

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Diseño de sistema hidráulico para abasto de agua potable y desarrollo de
plan de mantenimiento para tanque elevado”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Raúl David Ferruzola Navarro

Ariel Sebastián Torres Carrión

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

A Dios, que me ha dado sabiduría y fortaleza para culminar mis estudios.

A mi madre Cecilia, mis abuelos Raúl y Carmen, y a cada miembro de mi familia que estuvieron presente en cada etapa de mi vida.

A todas las personas cercanas y queridas que estuvieron presentes en mi camino como estudiante.

Raúl Ferruzola

A Dios, que me dio fuerzas para seguir adelante.

A mis padres Freddy y Patricia, que, con su apoyo incondicional, se pudo desarrollar este proyecto de la mejor manera.

Ariel Torres

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi familia por todo su apoyo durante todo mi recorrido como estudiante, y el soporte que siempre me han brindado.

A todos los profesores que tuve en la escuela, colegio y universidad, que aportaron a mi formación académica.

A nuestro tutor de tesis, el M.Sc. Julián Peña, a nuestra profesora de materia integradora, la M.Sc. Andrea Boero, y a los Ingenieros que nos guiaron durante todo el proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Raúl David Ferruzola Navarro* y *Ariel Sebastián Torres Carrión* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.



Raúl David Ferruzola Navarro



Ariel Sebastián Torres Carrión

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**ANDREA JAEL
BOERO VERA**

M.Sc. Andrea Boero Vera

PROFESOR DE LA MATERIA

JORGE
JULIAN PENA
ESTRELLA



Firmado digitalmente por JORGE
JULIAN PENA ESTRELLA
Fecha: 2021.10.07 08:38:40 -05'00'

M.Sc. Julián Peña Estrella

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El abastecimiento de agua potable por gravedad es el principal método de distribución debido a su fiabilidad, esto hace que se utilicen depósitos elevados para aprovechar la energía potencial del agua debido a su altura. A pesar de que estos sistemas necesitan mantenimientos relativamente cortos, es importante mantener la estructura externa e interna en condiciones óptimas evitando la corrosión que produce el ambiente y agua tratada, ya que, al ser la única fuente de abastecimiento, en caso de cortes por mantenimiento, se dejará de abastecer de agua potable a la población por días, incluso semanas. Por ello, el objetivo de este proyecto fue diseñar un sistema hidráulico que actúe como sistema emergente de abastecimiento, mientras se desarrolla un mantenimiento integral al tanque en las áreas de pintura, soldadura y protección catódica. En el diseño hidráulico se utilizaron herramientas como EPANET para determinar las pérdidas unitarias y verificar la velocidad y presión en la red de distribución, determinando que el sistema de bombeo actual con algunas modificaciones puede abastecer a la demanda actual en 2021. Sin embargo, para 2030, al haber un aumento de la población y demanda, el tanque elevado queda obsoleto, y se puede utilizar el diseño propuesto inicialmente emergente, como fuente de abastecimiento permanente. Además de ello, se determinó que se requiere cambios en las tuberías de la empresa potabilizadora y red de distribución, para que la velocidad del agua se mantenga dentro del rango establecido por la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11.

Palabras clave: *diseño hidráulico, mantenimiento, tanque elevado.*

ABSTRACT

Water supply by gravity is the main distribution method due to its reliability, this means that elevated tanks are used to take advantage of the potential energy of the water due to its height. Although the maintenance required in these systems is short, it is important to keep the external and internal structure in optimal conditions avoiding corrosion produced by the environment and treated water, since, being the only source of supply in case of any maintenance cut, the population will be cut off with water for several days, even weeks. Therefore, the objective of this project was to design a hydraulic system that acted as an emergent supply system, while developing a comprehensive maintenance to the tank that includes painting, welding and interior cathodic protection. In the hydraulic design, tools such as EPANET were used to determine the unit losses and verify the speed and pressure in the distribution network, determining that the current pumping system with some modifications can supply the current demand in 2021. However, by 2030, as there is an increase in population and demand, the elevated tank becomes obsolete, and the then-emerging proposed design can be used as a permanent source of supply. In addition to this, it was determined that changes are needed in the pipes of both the water treatment company and the distribution network, so that the speed of the water remains within the range established by the Ecuadorian Construction Standard NEC-11.

Keywords: *hydraulic design, maintenance, elevated tank.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades del proyecto.....	1
1.2 Definición del problema	1
1.3 Justificación e importancia del proyecto	2
1.4 Objetivos	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivos específicos	2
1.5 Estudio hidráulico	3
1.5.1 Tipos de bombas para abastecimiento de agua	3
1.5.2 Tipos de válvulas	4
1.5.3 Sistema de bombeo de tanque elevado.....	5
1.5.4 Calidad del agua	5
1.5.5 Sistema de bypass.....	6
1.5.6 Tipos de uniones.....	7
1.5.7 Tipos de fallas en tuberías	7
1.6 Estudio de mantenimiento	8

1.6.1	Mantenimiento preventivo y correctivo.....	9
1.6.2	Métodos de soldadura	9
1.6.3	Sistema de pintura.....	10
1.6.4	Protección catódica.....	10
1.6.5	Normativas y reglamentos	11
CAPÍTULO 2.....		12
2.	METODOLOGÍA.....	12
2.1	Diseño conceptual.....	12
2.1.1	Requerimientos de diseño	12
2.1.2	Factores de influencia.....	13
2.1.3	Alternativas de solución	14
2.1.4	Matriz de selección	17
2.1.5	Diseño de forma.....	18
2.1.6	Cálculo poblacional del cantón Daule	21
2.1.7	Población de la Cabecera Cantonal de Daule	22
2.1.8	Población abastecida por Emapa para el año 2030.....	22
2.1.9	Consumo doméstico máximo.....	22
2.1.10	Consumo medio diario.....	23
2.1.11	Consumo máximo diario	23
2.1.12	Consumo máximo horario.....	23
2.1.13	Caudal de captación	24
2.1.14	Población y consumos del área de estudio para el año 2021 y 2030.....	24
2.1.15	Ecuaciones para el método de área unitaria	25
2.1.16	Pérdida de fricción en tuberías por Darcy-Weisbach.....	26
2.1.17	Ecuaciones del golpe de ariete.....	28
2.1.18	Protección catódica por corriente impresa.....	30
2.1.19	Áreas para cálculo de pintura del tanque elevado.....	32

CAPÍTULO 3.....	33
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	33
3.1 Pintura.....	33
3.1.1 Cálculo de áreas del tanque elevado.....	33
3.1.2 Cotización de pintura externa y diluyente	33
3.1.3 Cotización de pintura interna	36
3.1.4 Procedimiento para aplicación de pintura	36
3.2 Protección catódica al interior del tanque elevado	37
3.3 Soldadura del bypass.....	39
3.4 Planes de mantenimiento preventivos.....	40
3.4.1 Plan de mantenimiento preventivo para el bypass.....	40
3.4.2 Inspecciones visuales y limpieza externa	40
3.4.3 Formato de inspección de válvulas.....	41
3.5 Plan de mantenimiento preventivo del tanque elevado	41
3.6 Sistema de bypass	43
3.6.1 Pérdidas en el bypass.....	43
3.6.2 Golpe de ariete	45
3.7 Red de distribución de la cabecera cantonal de Daule.....	48
3.8 Resultados de caudales y pérdidas en la red de distribución.....	50
3.9 Configuración del sistema de bombeo para el abastecimiento de agua.....	56
3.9.1 Sistema de bombeo actual de la planta potabilizadora de agua.....	56
3.9.2 Configuración del sistema de bombeo para el año 2021	57
3.9.3 Configuración del sistema de bombeo para el año 2030	58
3.9.4 Eficiencia del sistema de bombeo.....	58
3.9.5 Bombas requeridas en los recintos abastecidos.....	60
3.10 Simulación del comportamiento del fluido en el bypass.....	61
3.11 Análisis de costos del proyecto	63

CAPÍTULO 4.....	66
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
4.1 Conclusiones.....	66
4.2 Recomendaciones.....	67
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NEC	Norma Ecuatoriana de Construcción
OMS	Organización Mundial de la Salud
AWS	American Welding Society
AWWA	American Water Works Association
OPS	Organización Panamericana de Salud
CAPRE	Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
WPS	Welding Procedure Specification
SMAW	Shield Metal Arc Welding
GMAW	Gas Metal Arc Welding
AAPP	Agua Potable
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CAD	Diseño Asistido por Computadora

SIMBOLOGÍA

m	Metro
mm	Milímetro
h	Hora
min	Minuto
s	Segundo
l	Litro
GPM	Galones por minuto
kg	Kilogramo
ton	Tonelada
Pa	Pascal
psi	Libra fuerza sobre pulgada cuadrada
HP	Caballo de fuerza
Hab	Habitantes
<i>P</i>	Población
<i>i</i>	Tasa de crecimiento poblacional
<i>n</i>	Período de diseño
<i>cmd</i>	Consumo medio diario
<i>CMD</i>	Consumo máximo diario
<i>CMH</i>	Consumo máximo horario
<i>KMD</i>	Factor de mayoración diario
<i>KMH</i>	Factor de mayoración de horario
<i>ff</i>	Factor de fuga
<i>Dot</i>	Dotación
<i>Q</i>	Caudal
<i>A</i>	Área
<i>v</i>	Velocidad
<i>P</i>	Presión
<i>z</i>	Elevación o cabezal
<i>h</i>	Pérdidas
ρ	Densidad
<i>g</i>	Gravedad

L	Longitud de tubería
D	Diámetro de tubería
f	Factor de fricción
Re	Número de Reynolds
μ	Viscosidad dinámica
ε	Rugosidad
dft	Espesor de capa seca
% SV	Porcentaje sólido de volumen
wft	Espesor de capa húmeda
J	Densidad de corriente
I	Corriente
Ω	Resistencia eléctrica
V	Voltaje/voltios
Mn	Manganeso
Cr	Cromo
Mo	Molibdeno
V	Vanadio
Ni	Níquel
Cu	Cobre
C	Carbono
E	Módulo de Young
a	Celeridad de conducción
ΔH	Sobrepresión o golpe de ariete
n	Eficiencia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Distribución de agua potable	12
Figura 2.2 Distribución del agua potable por hora promedio	12
Figura 2.3 Doble tanque elevado.....	15
Figura 2.4 Sistema Bypass.....	16
Figura 2.5 Cisterna de hormigón	16
Figura 2.6 Variador de frecuencia	17
Figura 2.7 Sistema de tanque elevado de la Empresa de agua potable	19
Figura 2.8 Sistema Bypass.....	20
Figura 2.9 Sistema de bombeo actual	20
Figura 3.1 Factor de fricción en el bypass mediante el Diagrama de Moody	43
Figura 3.2 Red de distribución de la cabecera cantonal norte de Daule	48
Figura 3.3 Red de distribución de la cabecera cantonal sur de Daule.....	49
Figura 3.4 Área de influencia de cabecera cantonal norte de Daule	49
Figura 3.5 Área de influencia de cabecera cantonal sur de Daule	50
Figura 3.6 Red de distribución de la cabecera cantonal de Daule en Epanet	53
Figura 3.7 Presión en nodos y velocidad en tuberías, año 2021	54
Figura 3.8 Presión en nodos y velocidad en tuberías, año 2030	54
Figura 3.9 Curvas de rendimiento del sistema de bombeo actual.....	57
Figura 3.10 Curva de rendimiento de la bomba 1 y bomba 2 en paralelo	57
Figura 3.11 Curva de rendimiento de bombas 1, 2, 3 en paralelo con bomba 1	58
Figura 3.12 Curvas de eficiencia para la bomba 1 y bomba 2.....	59
Figura 3.13 Caudal para bomba 1 y 2 en cabezal de operación (2021)	59
Figura 3.14 Caudal para bomba 1 y 2 en cabezal de operación (2030)	60
Figura 3.15 Comportamiento del fluido con respecto a la fuerza.....	62
Figura 3.16 Comportamiento del fluido con respecto a la presión.....	62
Figura 3.17 Comportamiento del fluido con respecto a los esfuerzos	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Calidad del agua para consumo humano	5
Tabla 1.2 Parámetros bacteriológicos del agua potable	6
Tabla 1.3 Tipos de uniones	7
Tabla 1.4 Tipos de fallas en tuberías.....	8
Tabla 2.1 Factores de influencia.....	14
Tabla 2.2 Alternativas de solución	14
Tabla 2.3 Valores del coeficiente de regulación para capacidad del tanque	15
Tabla 2.4 Matriz de selección	18
Tabla 2.5 Población de Daule.....	21
Tabla 2.6 Caudales de estudio para la cabecera cantonal de Daule.....	23
Tabla 2.7 Caudales de captación según su estructura	24
Tabla 2.8 Comparación de población y consumos entre el año 2021 y 2030	24
Tabla 2.9 Coeficiente de inercia de bombeo K.....	29
Tabla 2.10 Coeficiente de efecto de otras energías C.....	29
Tabla 2.11 Eficiencias recomendadas del área a proteger en protección catódica	30
Tabla 2.12 Clasificación del suelo con respecto a su resistividad	31
Tabla 3.1 Áreas del tanque elevado y su estructura.....	33
Tabla 3.2 Opción 1 de pintura para exterior del tanque.....	34
Tabla 3.3 Opción 2 de pintura para exterior del tanque.....	35
Tabla 3.4 Opciones de pintura para interior del tanque.....	36
Tabla 3.5 Plan de acción para sistema de pintura	37
Tabla 3.6 Resultados del sistema de protección catódica por corriente impresa	38
Tabla 3.7 Características del ánodo MMO tubular Lida One, marca PCM	38
Tabla 3.8 Composición química del acero ASTM A-53	39
Tabla 3.9 Formato del Check List para inspección visual del bypass.....	40
Tabla 3.10 Formato de inspección de válvulas del bypass	41
Tabla 3.11 Plan de mantenimiento preventivo del tanque elevado	41
Tabla 3.12 Accesorios del bypass	43
Tabla 3.13 Pérdidas en el bypass en el año 2021	44
Tabla 3.14 Pérdidas en el bypass en el año 2030	44
Tabla 3.15 Datos para el cálculo de golpe de ariete para el año 2021	45

Tabla 3.16 Golpe de ariete para el año 2021	46
Tabla 3.17 Datos para el cálculo de golpe de ariete para el año 2030	46
Tabla 3.18 Golpe de ariete para el año 2030	47
Tabla 3.19 Longitudes de tramos de tuberías de la red de distribución	51
Tabla 3.20 Caudales en los nudos - Año 2021	51
Tabla 3.21 Caudales en los nudos - Año 2030	52
Tabla 3.22 Comparación de diámetros entre el año 2021 y 2030	55
Tabla 3.23 Comparación de la potencia requerida para el año 2021 y 2030	56
Tabla 3.24 Sistema de bombeo actual de la planta potabilizadora.....	56
Tabla 3.25 Potencia de las bombas requeridas en cada recinto	61
Tabla 3.26 Cotización de construcción del bypass	63
Tabla 3.27 Cotización de pintura	64
Tabla 3.28 Cotización de protección catódica	64
Tabla 3.29 Cotización de bombas para el sistema de bombeo de la planta.....	64
Tabla 3.30 Cotización de las bombas para recirculación en los recintos	65
Tabla 3.31 Costo total del proyecto	65

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Sistema de derivación bypass
PLANO 2	Estructura del tanque elevado de agua potable
PLANO 3	Detalles del tanque elevado de agua potable

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades del proyecto

En la actualidad, uno de los métodos de distribución de agua potable, empleado por las industrias dedicadas a este servicio, es el tanque elevado debido a que funciona por gravedad, lo cual garantiza un servicio constante por el poco mantenimiento que este necesita. La demanda de agua en una ciudad puede variar debido a distintos factores como la zona geográfica, la época del año, la cantidad de consumo de agua a lo largo del día y la noche, y finalmente, el alto uso del agua en industrias. Es importante conocer la operación de un sistema de distribución de agua, desde la variación de consumo hasta manejo de válvulas y equipos de bombeo que se encuentran en los tanques de almacenamiento.

El agua es transportada a través de sistemas de distribución que funcionan desde una fuente de abastecimiento hasta los consumidores. En esta era de poblaciones en aumento, mayores demandas de agua y reducción de recursos, estos sistemas son más cruciales que antes. La distribución de agua requiere infraestructura, la cual puede variar desde complejos sistemas de tuberías hasta los más sencillos contenedores de agua.

1.2 Definición del problema

La empresa de agua potable de un cantón de la provincia del Guayas, posee un tanque elevado de 300 m³ de capacidad, el cual es la fuente de suministro de agua hacia la población. Este tanque, debido a su estado actual, se encuentra en la necesidad de un mantenimiento integral, tanto de su estructura, plataforma, como del tanque en sí, específicamente en el área de pintura, soldadura y protección catódica, para solucionar el problema de la corrosión que los afecta.

La problemática está en que, dado que este tanque es la fuente principal de suministro de agua y, debido a que es mandatorio la suspensión total del

mismo durante su período de mantenimiento, la población se quedará sin abastecimiento de agua potable en ese tiempo de ejecución.

1.3 Justificación e importancia del proyecto

La utilización de tanques elevados como método de almacenamiento y distribución de agua otorga disponibilidad constante frente a las demandas fluctuantes de los usuarios durante el día, permitiendo el uso de bombas pequeñas que realizan el llenado constante del tanque, siendo esta alternativa la principal fuente de distribución de agua por gravedad en la ciudad. El mantenimiento de este tipo de estructuras es primordial para garantizar una distribución de agua potable de alta calidad y un abastecimiento constante en la red de agua potable.

Por tal motivo, lo que se propone en este proyecto es el diseño de un sistema hidráulico que entre en operación mientras se realiza el mantenimiento integral del tanque elevado, con la finalidad de continuar con el abastecimiento de agua potable a la población; además de la elaboración del plan de mantenimiento del mismo, en donde se busca una rehabilitación de su estructura metálica para garantizar la provisión continua del servicio agua de alta calidad.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar el diseño hidráulico de un sistema emergente de bombeo para derivar el suministro de agua potable para la ciudad que entre en operación durante trabajos de mantenimiento de un tanque elevado metálico de 300 m³, que sirva como sistema alternativo a futuro para el abastecimiento permanente de agua a la ciudad, lo cual incluye un plan de mantenimiento integral de su estructura.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar el diseño de la derivación de suministro de agua, incluye materiales a ser usados, procedimiento de soldadura, pintura, costos, cronograma de ejecución y simulación del comportamiento del fluido una vez colocada esta derivación.

- Elaborar un sistema de protección catódica para el área interna del tanque, en contacto con el agua de distribución.
- Elaborar un procedimiento de rehabilitación integral del sistema de pintura interno y externo a la superficie del tanque, junto a sus accesorios de carga y descarga y la derivación diseñada.
- Selección de recursos y materiales a usar para el mantenimiento integral del tanque.

1.5 Estudio hidráulico

A continuación, muestran las definiciones más relevantes de la parte hidráulica del proyecto, que ayudarán a comprender su estudio.

1.5.1 Tipos de bombas para abastecimiento de agua

Las bombas que son utilizadas en la mayoría de ocasiones para abastecimiento de agua son las bombas centrífugas horizontales, verticales y las bombas sumergibles (Organización Panamericana de Salud, 2005).

Las bombas sumergibles son aquellas que trabajan sumergidas en el punto de captación, y pueden ser empleadas en pozos muy profundos.

Las bombas centrífugas horizontales son las que tienen el eje de transmisión en dicha configuración, y pueden ser empleadas en cisternas y embalses. Las bombas de este tipo son las de succión positiva y succión negativa.

Las bombas centrífugas verticales son las que tienen el eje transmisión en dicha configuración, y pueden ser empleadas en pozos profundos, ya que por lo general estas bombas deben ubicarse directamente en el punto de captación. En este tipo de bombas se encuentran las bombas Booster.

Las bombas Booster son bombas centrífugas verticales multietapas que son empleadas para aumentar la presión del agua en la tubería, sin la necesidad de un tanque hidroneumático. Para un sistema de bombeo Booster, es necesario contar con los siguientes elementos como son las tuberías de succión e impulsión, válvulas de regulación y control, válvulas check, interruptores de nivel, tablero de control y sistema de ventilación (Monserrate, 2016).

1.5.2 Tipos de válvulas

Las válvulas son aquellos dispositivos que son utilizados en los conductos a presión para la detención, inicio o control de un fluido. Los tipos de válvulas varían según su función y uso. Se dividen en dos clases: seccionamiento y control (González, 2015).

En las de seccionamiento se encuentran las válvulas tipo mariposa y compuerta. En las de control están las válvulas check o de retención, de limpieza, reguladora de presión, nivel de tanque, de admisión.

Las válvulas de mariposa son las que interrumpe o regulan el flujo dentro de la tubería o conducto, con el aumento o reducción de la sección con una placa mariposa.

Las válvulas de compuerta son aquellas que permiten una apertura o cierre total del fluido dentro de la tubería o conducto mediante el uso de una placa de movimiento vertical.

Las válvulas check, también llamadas de retención, son aquellas que sirven para evitar que el fluido vaya en dirección contraria a la que debería, es decir, contrarresta flujos unidireccionales no deseados.

Las válvulas de limpieza son aquellas que sirven para la extracción de partículas y sedimentos que se encuentran en la zona baja de las tuberías.

Las válvulas reguladoras de presión son aquellas que sirven para la reducción de alta presión a la entrada, obteniendo una presión menor a la salida.

Las válvulas de control de nivel son aquellas que controlan el nivel de agua en un tanque, por lo que son indispensables para que no el agua no exceda el nivel de los tanques de almacenamiento.

Las válvulas de admisión son aquellas que tienen como función permitir que se escape el aire que se acumula en la tubería, con la finalidad de evitar que se formen zonas de aire comprimido que bloquee el flujo del agua.

1.5.3 Sistema de bombeo de tanque elevado

Un sistema de bombeo por tanque elevado, como su nombre lo indica, se emplea para la distribución de agua desde un tanque elevado, el cual es llenado de dicho fluido a través de bombas. Esta distribución del agua se realiza por gravedad hacia las distintas redes, por lo que es un sistema muy empleado en las plantas de potabilización de agua (Quiroz, 2016).

Este sistema suele ser de la siguiente manera: por medio de una bomba el agua es recogida desde un cuerpo de agua, luego en la planta de tratamiento sale con las condiciones suficientes para ser considerada como potable, y luego es dirigida mediante la estación de bombeo hacia el tanque elevado, en donde será distribuido a las distintas redes por gravedad.

Los tanques elevados pueden ser de acero, plásticos o de concreto. Los metálicos son fabricados con acero corrugado y galvanizado, y tienen formas cilíndricas en la parte superior e inferior del tanque. Los de plástico son hechos con polietileno y es uno de los diseños más prácticos y económicos. Los de concreto poseen grandes ventajas debido a su impermeabilidad, alta resistencia en contra de agentes químicos, y poca necesidad de mantenimiento (Rivera, 2018).

1.5.4 Calidad del agua

La calidad del agua es uno de los aspectos fundamentales a considerar previo a la distribución del agua potable a través de sus redes, por lo que tiene que seguir y cumplir ciertos índices, criterios, propiedades y características para que sea considerada apta para el consumo humano. La tabla de a continuación, muestra los valores de referencia de la normativa ecuatoriana INEN de los criterios de calidad del agua para consumo humano, realizado y analizado por el grupo químico Marcos (Baque, y otros, 2016):

Tabla 1.1 Calidad del agua para consumo humano
Fuente: (Baque, y otros, 2016)

Parámetros	NTE INEN 1108	Acuerdo Ministerial n° 097	OMS
Nitritos (mg/l)	50	50	50

Nitratos (mg/l)	50	50	50
Coliformes totales (NMP/100 ml)	-	200	-
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	< 1.1	1000	-
pH	-	42 619	6.5 – 9.2
Dureza (mg/l)	-	-	500
Cloruros (mg/l)	-	-	250
Hierro (mg/l)	-	1	1
Manganeso (mg/l)	-	-	0.4
Sulfato (mg/l)	-	500	-
Color (UPC)	15	75	-
Turbidez (NTU)	5	100	5

Las siguientes tablas son obtenidas de la Norma Regional CAPRE (Norma Regional CAPRE, 1993).

Tabla 1.2 Parámetros bacteriológicos del agua potable
Fuente: (Norma Regional CAPRE, 1993).

Origen	Parámetro	Valor recomendado	Valor máximo admisible
Todo tipo de agua de bebida	Coliforme fecal	Neg	Neg
Agua que entra al sistema de distribución	Coliforme fecal	Neg	Neg
	Coliforme total	Neg	≤ 4
	Coliforme total	Neg	≤ 4
Agua en el sistema de distribución	Coliforme fecal	Neg	Neg

1.5.5 Sistema de bypass

Un sistema bypass es una línea de respaldo que puede actuar de dos maneras: para permitir que el proceso siga mientras se cierran las válvulas

de los equipos en la línea principal cuando estos se encuentren averiados o deban ser reemplazados en mantenimientos correctivos, o también para complemento de un equipo, es decir regular el caudal o presión con las válvulas principales y bypass abiertas (Castillo, Jhon, 2014). Por esta razón, la válvula que se necesita para la línea secundaria y primaria va a depender de diversos factores como método de uso del bypass, dimensiones de las tuberías, tipo de fluido y uniones.

1.5.6 Tipos de uniones

En la tabla siguiente se presentan los tipos de uniones que se aplican a las tuberías.

Tabla 1.3 Tipos de uniones

Tipos de unión	Descripción
Roscado	Esta conexión se aplica cuando la tubería y las válvulas se enroscan. La rosca puede estar en la zona exterior o interior de la válvula. Este tipo de conexiones se utilizan comúnmente para tamaños de tubería menores a 150 mm, y se utilizan generalmente para válvulas de bronce y en casos menos comunes, para válvulas de acero y hierro.
Bridado	Esta conexión se realiza a través de una brida, la cual es atornillada al conectarse la tubería y la válvula. Estos tipos de conexiones son sencillos de instalar y desmontar de las tuberías, comúnmente están diseñadas para tamaños superiores a los 15 mm en una amplia gama de aplicaciones.
Soldado	En estos tipos de conexiones se usa soldadura para efectuar la conexión. Estas conexiones son soluciones rentables, sin embargo, su gran desventaja es que la conexión es permanente y necesita de mucho trabajo para romperla. Las conexiones soldadas más utilizadas son: extremos soldados por enchufe y a tope (Hjellseth, Ouile, Roste, & Sanz, 2018).

1.5.7 Tipos de fallas en tuberías

Del mismo modo, se presentan a continuación, los distintos tipos de fallas que pueden ocurrir en las tuberías debido a distintos factores como

desgaste, deterioro debido a su ciclo de vida útil, condiciones climáticas, entre otras.

Tabla 1.4 Tipos de fallas en tuberías

Tipos de fallas	Descripción
Corrosión	Esta falla comúnmente se genera debido a la presencia de sustancias químicas o impurezas, esta corrosión puede ser de origen general o local. La corrosión general produce un desgaste bastante uniforme en toda la superficie; en cambio, la corrosión local produce un daño generalizado en ciertos puntos de la superficie en los que existan imperfecciones o fatiga.
Rotura	La corrosión externa e interna, golpes con carretillas, vibraciones u otros equipos móviles que producen impactos rotundos generan debilitamiento en las tuberías y válvulas produciendo fracturas en la superficie.
Erosión	Esta falla se produce en puntos específicos donde la velocidad de impacto es elevada. Este daño puede disminuir si se selecciona la válvula correcta en cada aplicación. Las válvulas de apriete y diafragma son las más eficientes para reducir la erosión, especialmente en presencia de fangos (Castillo, Jhon, 2014).
Golpe de ariete	Es un problema que ocurre en las paredes de las tuberías, y se debe al aumento brusco y repentino de presión, que sucede cuando el agua varía su velocidad o dirección, por lo que la energía se transfiere tanto a las válvulas como a la misma tubería (Lahlou, 2010).
Cavitación	Se conoce como cavitación a la formación y colapso de burbujas de vapor que ocurren en un fluido que está circulando en la tubería o en cualquier máquina hidráulica, debido a que la presión en un determinado punto desciende hasta un valor cercano a la de su presión de saturación (Varela & Monroy, 2012).

1.6 Estudio de mantenimiento

A continuación, se muestra las definiciones más relevantes de la parte de mantenimiento del proyecto, que ayudarán a comprender su estudio.

1.6.1 Mantenimiento preventivo y correctivo

El mantenimiento se puede definir como una serie de pasos y técnicas que sirven para la conservación o arreglo de equipos, sistemas e instalaciones industriales, con la finalidad de prolongar su vida útil (García, 2009).

El mantenimiento preventivo es un tipo de mantenimiento el cual sirve para planificar, por lo que se lo realiza previo a la falla, por lo que se lo denomina también como mantenimiento planificado (Callolini, 2009). Según las normas establecidas por el Comité de Normalización de IRIM (2015), se debe tener en cuenta lo siguiente: Verificación de equipo, Seguridad física, Seguridad lógica, Respaldo de información, Limpieza, Identificación de equipo, Ensamble de equipo (López, 2018).

El mantenimiento correctivo es un tipo de mantenimiento que se realiza cuando ya la falla o avería ha ocurrido, por lo que se lo denomina como mantenimiento reactivo (Duarte, 2006). Según las normas establecidas por el Comité de Normalización de IRIM (2015), se debe tener en cuenta lo siguiente: Verificación de equipo, Seguridad física, Seguridad lógica, Respaldo de información, Consideración del mantenimiento preventivo, Corrección de daños (López, 2018).

1.6.2 Métodos de soldadura

Dado que uno de los tipos de uniones en las tuberías, es la unión soldada, el proceso de soldadura es muy importante dado que, es uno de los más usados por las empresas potabilizadoras para realizar uniones de tubería a tubería.

La soldadura es un proceso el cual une dos materiales mediante de coalescencia de los mismos, fundiendo sus superficies de contacto aplicando calor y/o presión (Groover, 2007). De acuerdo al código de ASME (2004), algunos de los métodos de soldadura tipo arco son (Flores, 2005):
Soldadura de electrodo revestido (SMAW).
Soldadura de arco sumergido (SAW).
Soldadura de arco con protección de gas (GMAW).
Soldadura de perno (SW).

Luego de la selección del proceso de soldadura se deben cumplir con los códigos y estándares de soldadura, estos son:

El procedimiento de especificaciones de soldadura (WPS) son los planos que contienen toda la información, en donde se explica el proceso completo de la soldadura (Peralta & Serrano, 2010).

El registro de los procedimientos de soldadura (PQR) son los que sirven para la documentación de todos los resultados de las pruebas, validándolos en su respectiva aplicación (Alcalá, 2011).

Las calificaciones del soldador (WPQ) es el proceso para la calificación del soldador, operador de soldadura y soldadores punteadores, y es el que garantiza que dichos soldadores son capaces de producir soldaduras correctamente (Groover, 2007).

1.6.3 Sistema de pintura

El sistema de pintura aplicado tanto en los tanques elevados como en el sistema de tuberías es fundamental para garantizar la calidad del agua, y que esta siga teniendo sus propiedades como agua potable. Para el caso de las tuberías se aplican revestimientos con una capa protectora, tales como pinturas epóxicas, esmaltes de alquitrán de hulla, polietileno y cemento (Sousa, Correia, & Colmenares, 2010). Para el caso de los tanques de almacenamiento de agua potable también se emplean pinturas epóxicas.

1.6.4 Protección catódica

La protección catódica es un método el cual se basa en hacer que una estructura determinada funcione como un cátodo en una celda de corrosión (Francia, 2004). Existen dos tipos: ánodos de sacrificio y corriente impresa.

El sistema de ánodos de sacrificio es aquel que emplea la diferencia de potencial entre el material del ánodo y la estructura que se está protegiendo como fuente corriente. (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2007).

El sistema de corriente impresa es aquel en el que los ánodos son conectados a una terminal positiva o fuente de corriente directa, mientras

que la estructura se conecta a la terminal negativa (Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios, 2007).

1.6.5 Normativas y reglamentos

Para la parte hidráulica, las normas que se deben seguir son las siguientes (Interagua, 2015):

NTP-IA-016: Norma Técnica, Construcción de proyectos de AAPP Y AASS, tuberías y accesorios de acero.

NTP-IA-033: Norma Técnica para tubería plástica PVC rígido P/presión.

NTP-IA-010: Norma Técnica para válvula de mariposa.

NTP-IA-030: Norma Técnica para válvula de compuerta.

DE-NTE-001: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 439:1984.

AWWA C115: Norma Técnica para bridas roscadas en tuberías de hierro dúctil.

AWWA C219: Norma Técnica para acoplamientos empernados, tipo manguito para tubería de extremo plano.

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11: Velocidad de transporte de agua.

Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-16: Presión de nudos de consumo.

Para la parte de mantenimiento, las normas que se deben seguir son las que se muestran a continuación:

AWWA C210-07: Sistema de recubrimiento de líquido epóxico para el interior y exterior de tuberías de acero para conducción de agua.

AWWA C200: Código de manufactura de tuberías soldadas.

AWS D1.1: Código de soldadura estructural – acero.

NTE INEN-ISO 12944-5: Norma Técnica Ecuatoriana para pinturas y barnices, protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño conceptual

2.1.1 Requerimientos de diseño

El sistema de bombeo requiere:

- Según un informe de la Empresa Municipal de Agua Potable del año 2020, el volumen total distribuido a las redes de agua potable fue de 604 700 m³/mes, con un promedio de 19 506 m³/día.

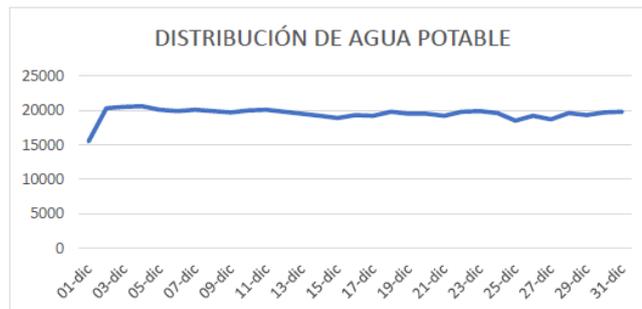


Figura 2.1 Distribución de agua potable
Fuente: Informe de Empresa Municipal de Agua Potable.

- Este mismo informe muestra la distribución horaria, en donde se aprecia que el máximo caudal es de 1000 m³/h, el cual ocurre a las 11:00 a.m.



Figura 2.2 Distribución del agua potable por hora promedio
Fuente: Informe de Empresa Municipal de Agua Potable.

- Una velocidad de transporte de agua entre 0.5 m/s y 2.5 m/s según la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11.
- La presión que debe tener cada nudo de consumo no podrá superar los 71.12 psi según la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-16.

El sistema alternante requiere:

- No sobrepasar un área aproximada de 890 m².
- No interferir con la estructura del tanque.
- Tener el espacio suficiente para trabajos de mantenimiento y toma de mediciones.

Con los datos obtenidos, se obtienen los consumos necesarios para abastecer a la población proyectada a 2030, la cual es de 188 087 habitantes, obtenida mediante la ecuación de incremento poblacional en la sección 2.1.6 y 2.1.7, considerando que la Planta de Agua Potable solo abastece a la cabecera cantonal de Daule, ya que los recintos aledaños poseen sus propias reservas bajas. Los consumos obtenidos mediante cálculos son:

- Un consumo doméstico máximo de 110 l/hab/día.
- Un consumo medio diario 287.4 l/s.
- Un consumo máximo diario de 359.2 l/s.
- Un consumo máximo horario de 1077.6 l/s.

Los cálculos relacionados a los consumos, se muestran a partir de la sección 2.1.9.

2.1.2 Factores de influencia

A continuación, se muestra una tabla con los factores de influencia más relevantes para este proyecto, en donde las ponderaciones fueron colocadas de acuerdo a la importancia que se le da a cada factor.

Tabla 2.1 Factores de influencia

Factor de influencia	Ponderación o peso	Explicación
Costo de operación	0.20	Bajos costos asociados a la distribución del agua potable a la ciudad.
Mantenimiento	0.10	Facilidad para realizar mantenimiento preventivo y correctivo del sistema de distribución del agua potable.
Costo de fabricación	0.20	Bajos costos asociados a la fabricación e implementación del proyecto.
Facilidad de instalación	0.20	Facilidad para implementación del sistema de abastecimiento de agua potable.
Vida útil	0.15	Período de vida útil del sistema.
Rendimiento	0.15	Buena eficiencia del sistema hidráulico.

2.1.3 Alternativas de solución

A continuación, se plantean las siguientes alternativas de solución, con los costos aproximados de cada uno, obtenidos mediante una búsqueda de precios de todos los factores a considerar en cada alternativa.

Tabla 2.2 Alternativas de solución

Alternativa	Detalle
Alternativa 1 Doble tanque elevado	Diseño e implementación de un segundo tanque elevado, el cual sirva para el abastecimiento de agua potable a la ciudad, mientras el otro tanque se encuentra en mantenimiento.
Alternativa 2 Sistema hidráulico de bypass con sistema de bombeo adicional	Diseño e implementación de una derivación bypass, con la finalidad de que el agua que viene desde la planta de tratamiento se desvíe, mediante la estación de bombeo actual, más la adición de un sistema de bombeo para satisfacer la demanda.
Alternativa 3 Sistema de bombeo con la construcción de una cisterna	Diseño y construcción de una cisterna, del cual, mediante bombas sumergibles, se distribuirá el agua potable a la ciudad.
Alternativa 4 Sistema hidráulico de bypass con variadores de frecuencia	Diseño e implementación de una derivación bypass, con la instalación de variadores de frecuencia en el sistema de bombeo actual para regular presión y caudal para satisfacer la demanda actual de población.

Para la alternativa 1 correspondiente a la instalación de un doble tanque elevado, se tiene que conocer la capacidad del tanque a instalar. Para ello se hace uso de la ecuación $C = R * CMD$ (CONAGUA, 2007), donde el consumo máximo diario CMD está en l/s y C en m³. Los valores para R son:

Tabla 2.3 Valores del coeficiente de regulación para capacidad del tanque (Fuentes: (CONAGUA, 2007))

Horas de suministro al tanque	Horario de bombeo	Coficiente de regulación
24 horas	0 a 24 horas	14.48
20 horas	4 a 24 horas	7.20
16 horas	6 a 22 horas	15.30

El costo aproximado para la instalación de un segundo tanque elevado, con la capacidad necesaria para satisfacer la demanda a futuro, considerando todo el estudio previo y mano de obra es de \$ 4 683 822.

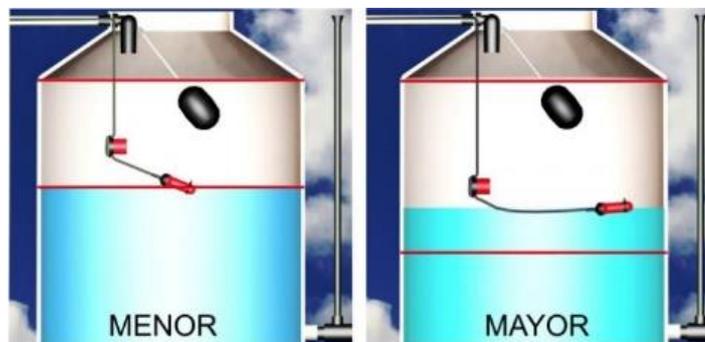


Figura 2.3 Doble tanque elevado Fuente: (GIS Tecnologías, 2017)

Para la alternativa 2, se deben considerar los costos del mantenimiento integral del tanque elevado, instalación del bypass, y el sistema de bombeo que se adiciona al existente. (La cotización se mostrará en el Capítulo 3).



Figura 2.4 Sistema Bypass
Fuente: (sks-m, 2021)

La alternativa 3, correspondiente a una cisterna de hormigón armado, brinda una gran resistencia ante los agentes externos y una larga vida útil. La cotización de esta cisterna con una capacidad adecuada para satisfacer la demanda a futuro, considerando mano de obra y sistema de bombeo es aproximadamente de \$ 1 006 773.



Figura 2.5 Cisterna de hormigón
Fuente: (Ibercons Arquitectura, 2016)

Para la alternativa 4, los variadores de frecuencia son una gran alternativa considerando la reducción de consumo eléctrico que implica. La selección del mismo depende de sus características, rangos de voltaje y de potencias de los motores. Dado que se debe instalar un variador de frecuencia por bomba, su cotización considerando los costos por instalación, se aproxima a \$ 745 157. A esto se le debe agregar los costos de mantenimiento del tanque elevado e implementación del bypass.

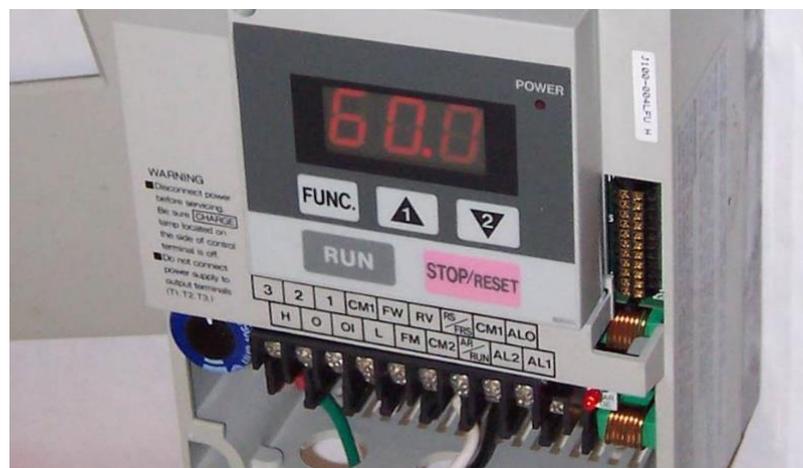


Figura 2.6 Variador de frecuencia
Fuente: (S&P, 2020)

Los costos que se mostraron, fueron obtenidos de diversos trabajos investigativos, artículos científicos, tesis, y páginas de compra y venta.

2.1.4 Matriz de selección

A continuación, se presenta la matriz de selección de las alternativas de solución planteadas en la sección anterior, para determinar cuál solución es más viable considerando los factores de influencia más importantes descritos anteriormente. A cada factor de influencia se le da un valor del 1 al 5, en donde, si mientras más cumple el requisito, mayor será el valor asignado. Luego ese valor es multiplicado por su peso correspondiente a cada factor de influencia, obteniendo un valor final. La alternativa que obtenga un mayor valor, será la solución escogida.

Tabla 2.4 Matriz de selección

Factores de influencia	Peso	Alternativas de solución							
		Doble tanque elevado		Bypass con sistema de bombeo		Cisterna		Bypass con variadores de frecuencia	
Costo de operación	0.20	4	0.80	3	0.60	2	0.40	4	0.80
Mantenimiento	0.10	2	0.20	4	0.40	3	0.30	4	0.40
Costo de fabricación	0.20	1	0.20	3	0.60	2	0.40	3	0.60
Facilidad de instalación	0.20	2	0.40	4	0.80	4	0.80	4	0.80
Vida útil	0.15	5	0.75	3	0.45	3	0.45	4	0.60
Rendimiento	0.15	5	0.75	5	0.75	4	0.60	3	0.45
TOTAL	1.00	-	3.10	-	3.60	-	2.95	-	3.65

Luego de realizar la matriz de selección, se obtienen dos soluciones ganadoras que pueden ser viables para la solución de este proyecto. Ambas soluciones implican el diseño y construcción de un bypass, con la diferencia de que la Alternativa 2 emplea un sistema de bombeo adicional al sistema de bombeo actual, mientras que la Alternativa 4 utiliza variadores de frecuencia para regular el flujo y satisfacer la demanda. La selección de la solución pertinente depende de los cálculos hidráulicos respectivos para obtener resultados sobre caudales, presiones y potencias, con la finalidad de conocer si el sistema de bombeo actual es suficiente para satisfacer el consumo de la población, en ese caso, la Alternativa 4 de los variadores de frecuencia sería la elegida; mientras que, si el sistema de bombeo no satisface la demanda, la Alternativa 2 correspondiente al uso de sistema de bombas adicional sería la seleccionada.

2.1.5 Diseño de forma

El sistema bypass requiere:

- Una distancia mínima de 0.7 m entre la línea principal y secundaria, para labores de instalación y mantenimiento (Empresas Públicas de Medellín, 2017).
- Las válvulas en las líneas principal y secundaria deberán a una distancia mínima de 0.4 m (Empresas Públicas de Medellín, 2017).
- Las válvulas quedarán ensambladas garantizando su posición horizontal con el fin de que no se inclinen (Empresas Públicas de Medellín, 2017).
- Las uniones entre válvula – tubería deben ser bridadas, y entre tubería – tubería deben ser soldadas.
- Debe tener como mínimo una válvula de apertura y cierre.
- Debe tener un medidor de presión.
- El sistema de bypass debe ir por fuera de la estructura del tanque debido a sus bifurcaciones.

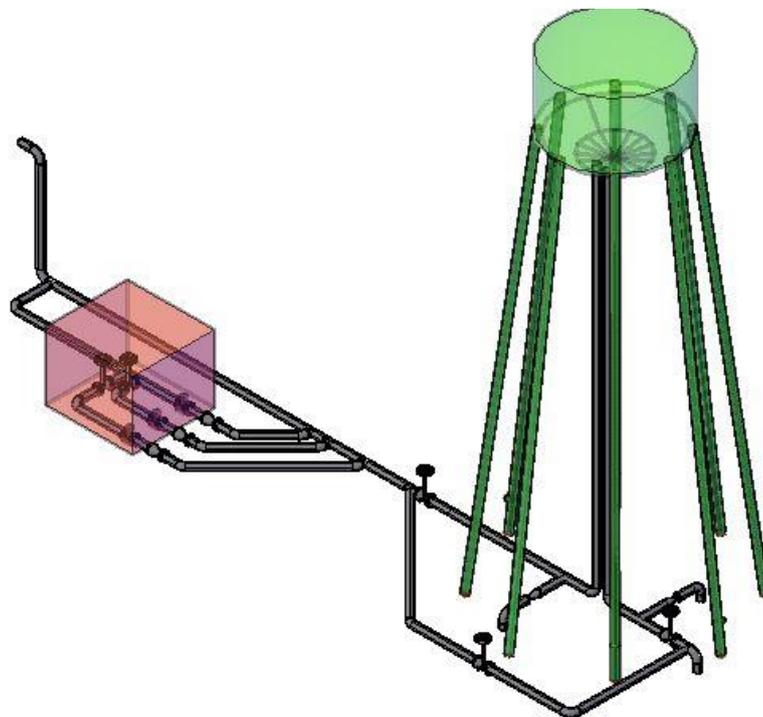


Figura 2.7 Sistema de tanque elevado de la Empresa de agua potable

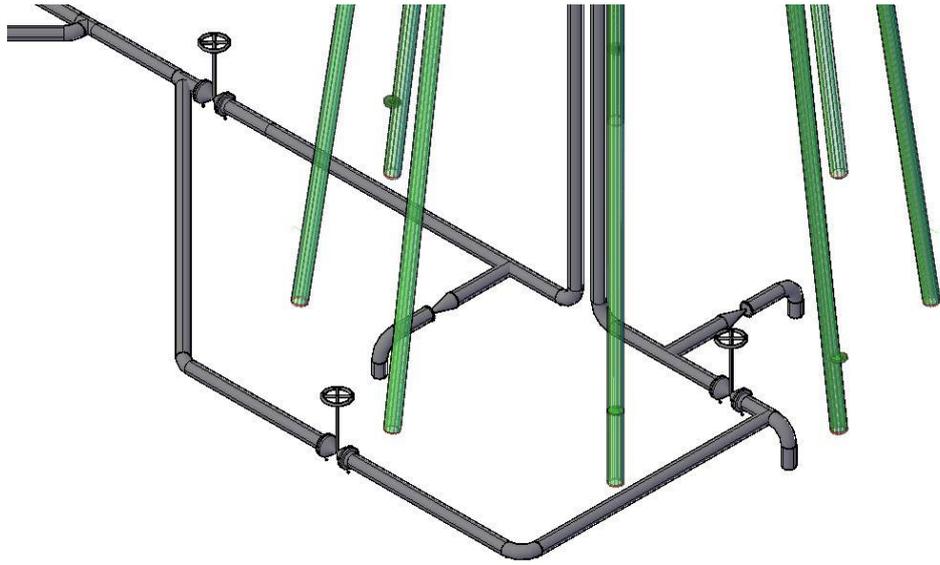


Figura 2.8 Sistema Bypass

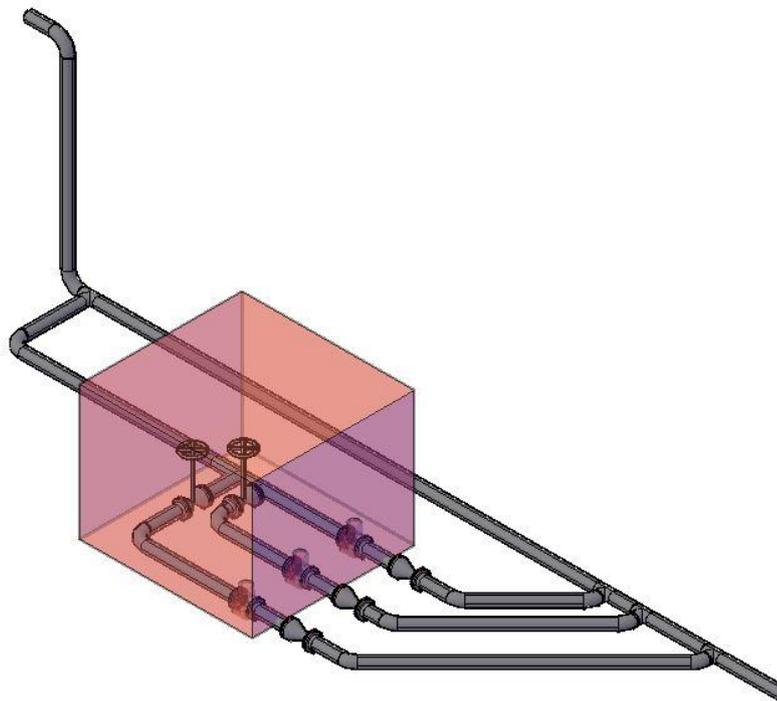


Figura 2.9 Sistema de bombeo actual

Todos estos diseños de forma fueron realizados en el AutoCAD Plant 3D, con licencia estudiantil *astorresG6KNL*.

2.1.6 Cálculo poblacional del cantón Daule

De acuerdo a los datos de la población del cantón Daule aportados por la INEC, se tiene lo siguiente:

Tabla 2.5 Población de Daule

Año	Población
1990	65 301
2001	85 148
2010	120 326

La fórmula para calcular las proyecciones a futuro es la siguiente:

$$P_f = P_a * (1 + i)^n \quad (2.1)$$

Donde:

P_f : población a futuro en un tiempo n

P_a : población actual

i : tasa de crecimiento en porcentaje

n : período de diseño

De aquí se despeja la tasa de crecimiento i , quedando:

$$i = \sqrt[n]{\frac{P_f}{P_a}} - 1 \quad (2.2)$$

Con esto se obtiene la tasa de crecimiento que hubo entre el año 2001 y 2010:

$$i = \sqrt[9]{\frac{P_f}{P_a}} - 1$$
$$i = \sqrt[9]{\frac{120\ 326}{85\ 148}} - 1$$
$$i = 0.039 = 3.9\%$$

2.1.7 Población de la Cabecera Cantonal de Daule

Según el último censo realizado por la INEC en el año 2010, la cabecera cantonal registró 87 508 habitantes. Empleando la tasa de crecimiento obtenida anteriormente, se obtendrán las proyecciones para el año 2020 y 2030.

Año 2021

$$P_f = P_a * (1 + i)^n$$

$$P_f = 87\,508 * (1 + 0.039)^{11}$$

$$P_f = 133\,297 \text{ habitantes}$$

Año 2030

$$P_f = 87\,508 * (1 + 0.039)^{20}$$

$$P_f = 188\,087 \text{ habitantes}$$

2.1.8 Población abastecida por Emapa para el año 2030

Dado que las parroquias de Juan Bautista Aguirre, Limonal, Los Lojas, Laurel y La Aurora cuentan con sus propias plantas potabilizadoras de agua para sus respectivos abastecimientos, el tanque elevado de Emapa solo abastece a la cabecera cantonal de Daule. Lo mismo sucede con otras parroquias y recintos del cantón, como son Magro, Las Ánimas, Naupe y Las Maravillas, las cuales poseen un tanque que se alimenta de una estación de bombeo ubicada en un punto en específico del lugar. Por lo que la población para el año 2030 solo se toma en cuenta la de la cabecera cantonal que es de 188 087 habitantes.

2.1.9 Consumo doméstico máximo

El cálculo de los consumos de a continuación, servirán para poder determinar la potencia que se va a necesitar en el sistema de bombeo para el año 2030.

$$\text{Dotación futura} = \text{Dotación Actual} + 1 \text{ l/hab/día} * 10 \quad (2.3)$$

$$\text{Dotación futura} = (100 + 10) \text{ l/hab/día}$$

$$\text{Dotación futura} = 110 \text{ l/hab/día}$$

2.1.10 Consumo medio diario

$$cmd = \frac{ff * Pob * Dot}{86400} \quad (2.4)$$

Donde:

ff: Factor de fugas

Pob: Población al final de periodo de diseño

Dot: Dotación futura [l/hab/día]

$$cmd = 1.2 * \frac{188\ 087 * 110}{86400} = 287.4 \frac{l}{s} = 24\ 831.36 \frac{m^3}{día}$$

2.1.11 Consumo máximo diario

$$CMD = KMD * cmd \quad (2.5)$$

Donde:

KMD: Factor de mayoración máximo diario (125%)

$$CMD = 1.25 * 289.1$$

$$CMD = 359.2 \frac{l}{s} = 31\ 034.88 \frac{m^3}{día}$$

2.1.12 Consumo máximo horario

$$CMH = KMH * CMD \quad (2.6)$$

Donde:

KMH: Factor de mayoración máximo horario (300%)

$$CMH = 3 * 361.4$$

$$CMH = 1077.6 \frac{l}{s} = 93\ 104.64 \frac{m^3}{día}$$

Tabla 2.6 Caudales de estudio para la cabecera cantonal de Daule

Caudales de estudio para la cabecera cantonal de Daule					
Año	Población	Dotación	cmd [l/s]	CMD [l/s]	CMH [l/s]
2020	128 293	100	178.2	222.7	668.2
2021	133 296	101	187.0	233.7	701.2

2022	138 495	102	196.2	245.3	735.8
2023	143 896	103	205.9	257.3	771.9
2024	149 508	104	216.0	269.9	809.8
2025	155 339	105	226.5	283.2	849.5
2026	161 397	106	237.6	297.0	891.0
2027	167 692	107	249.2	311.5	934.5
2028	174 232	108	261.3	326.7	980.1
2029	181 027	109	274.1	342.6	1027.7
2030	188 087	110	287.4	359.2	1077.6

2.1.13 Caudal de captación

En la siguiente tabla se muestran los caudales de captación de acuerdo a su estructura:

**Tabla 2.7 Caudales de captación según su estructura
(Fuente: INEN, 1997)**

Estructuras	Caudales
Captación de agua superficiales	CMD + 20%
Captación de aguas subterráneas	CMD + 5%
Conducción de aguas superficiales	CMD + 10%
Conducción de aguas subterráneas	CMD + 5%
Red de distribución	CMH
Planta de tratamiento	CMD + 10%

$$Q_{cap} = CMH = 1077.6 \frac{l}{s}$$

2.1.14 Población y consumos del área de estudio para el año 2021 y 2030

La tabla siguiente muestra una comparación de población y consumo entre el año 2021 y 2030 de la cabecera cantonal de Daule.

Tabla 2.8 Comparación de población y consumos entre el año 2021 y 2030

Año	2021	2030
Población de la cabecera cantonal de Daule	133 297 <i>habitantes</i>	188 087 <i>habitantes</i>

Dotación	101 $l/hab * día$		110 $l/hab * día$	
Unidades	l/s	$m^3/día$	l/s	$m^3/día$
Consumo medio diario	186.9	16 148.16	287.4	24 831.36
Consumo máximo diario	233.7	20 191.68	359.2	31 034.88
Consumo máximo horario	701.2	60 583.68	1077.6	93 104.64

2.1.15 Ecuaciones para el método de área unitaria

Para obtener valores de caudales y pérdidas en una red de distribución de agua potable, existen varios métodos como Hardy Cross, Darcy-Weisbach, y muchos de ellos son computacionales como es el caso del software Epanet. Sin embargo, para hacer uso de estos métodos, se necesita partir de cierta información previa, como longitudes y diámetros de tuberías, áreas a considerar, caudales en los tramos de tuberías o en los nodos de estudio, entre otros.

Para obtener dicha información, también se emplean métodos como el de longitud unitaria, densidad poblacional o el de área unitaria. Para este proyecto se hizo uso de este último, cuyas ecuaciones se detallan a continuación.

$$Q_u = \frac{CMH}{A_T} \quad (2.7)$$

$$Q_i = Q_u * A_i \quad (2.8)$$

Donde:

Q_u : caudal unitario superficial $\left[\frac{l}{s*ha} \right]$

Q_i : caudal en el nodo i $\left[\frac{l}{s} \right]$

A_i : área de influencia del nodo i [ha]

A_T : área total del proyecto [ha]

CMH : caudal máximo horario $\left[\frac{l}{s} \right]$

2.1.16 Pérdida de fricción en tuberías por Darcy-Weisbach

En todos los estudios en donde la hidráulica se vea involucrada, es indispensable conocer lo que sucede con el fluido en movimiento dentro de una tubería, para ello se emplean diversas ecuaciones para obtener las pérdidas del fluido debido a la fricción generada por su movimiento y la tubería.

La ecuación de Bernoulli es una expresión que sirve para relacionar tres de los parámetros más importantes a considerar en la mecánica de los fluidos, siendo estos la presión, la velocidad y la altura o cabezal. Si bien es una de las ecuaciones más utilizadas para cálculos hidráulicos, solo se la puede emplear para zonas de flujo estacionario e incompresible (Cengel, 2016). Esta ecuación es empleada para encontrar las pérdidas por fricción generadas por un fluido a lo largo de una tubería, siendo su expresión la siguiente:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 + h_T = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + h_f + h_k \quad (2.9)$$

Donde:

v_1 y v_2 : velocidad del fluido en el punto 1 y 2 respectivamente $\left[\frac{m}{s}\right]$.

P_1 y P_2 : presión del fluido en el punto 1 y 2 respectivamente [Pa].

z_1 y z_2 : cabezal o elevación del fluido en el punto 1 y 2 respectivamente [m].

h_T : cabezal total de la bomba [m].

h_f : pérdidas por fricción en la tubería.

h_k : pérdidas por fricción de los accesorios.

ρ : densidad del fluido $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

g : gravedad del lugar $\left[\frac{m}{s^2}\right]$.

En este punto del análisis, para encontrar las pérdidas por fricción h_f se hace presente la conocida como Ley de Darcy, la cual relaciona la velocidad de descarga con el gradiente hidráulico del agua en un medio

poroso. La ley de Darcy solo es válida para Números de Reynolds bajos en donde el flujo es laminar y las fuerzas viscosas son las que dominan (Baldocchi, 2006). Su expresión es la siguiente:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.10)$$

En donde los nuevas incógnitas o parámetros son:

L : longitud de la tubería [m].

D : diámetro de la tubería [m].

f : factor de fricción de Darcy-Weisbach.

Este factor de fricción es un número adimensional y puede ser encontrado por la ecuación de Colebrook, la cual es:

$$\frac{1}{f^{0.5}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re f^{0.5}} \right) \quad (2.11)$$

En donde:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (2.12)$$

Los nuevos parámetros que han aparecido son:

Re : número de Reynolds del fluido.

ε : rugosidad del material de la tubería.

μ : viscosidad dinámica del fluido [Pa s]

Este factor de fricción también puede ser obtenido mediante el diagrama de Moody, teniendo el número de Reynolds y la rugosidad relativa, que es la relación entre la rugosidad y el diámetro de la tubería.

Por último, el término faltante de la ecuación de Bernoulli es la correspondiente a las pérdidas por accesorios h_k , la cual se la halla con la siguiente expresión:

$$h_k = k \frac{v^2}{2g} \quad (2.13)$$

Donde k es el coeficiente de pérdidas, el cual es distinto para cada accesorio.

2.1.17 Ecuaciones del golpe de ariete

Para obtener la sobrepresión o golpe de ariete en las tuberías, se procede a calcular mediante las siguientes ecuaciones (Oliveras, 2015):

$$T = \frac{2*L}{a} \quad (2.14)$$

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + \frac{k*D_{int}}{e}}} \quad (2.15)$$

$$k = \frac{10^{10}}{E} \quad (2.16)$$

Donde:

T : período de propagación de la onda de presión [s]

L : longitud de tubería [m]

a : celeridad de conducción [m/s]

k : coeficiente relativo de elasticidad

e : espesor de la tubería [mm]

E : módulo de Young [kg/m²]

D_{int} : diámetro interno de la tubería [mm]

Luego se calcula lo siguiente:

$$T_p = C + \frac{K*L*v}{g*H_m} \quad (2.17)$$

$$L_c = \frac{a*T_p}{2} \quad (2.18)$$

$$H_m = H_G + h_f + h_k \quad (2.19)$$

Donde:

T_p : tiempo de parada del agua [s]

L_c : longitud crítica [m]

v : velocidad del agua [m/s]

g : gravedad [m/s²]

H_m : altura manométrica de la instalación [m]

H_G : altura geométrica [m]

h_f : pérdida por fricción en la tubería [m]

h_k : pérdida por accesorios [m]

K : coeficiente de inercia de bombeo

C : coeficiente de efecto de otras energías

Tabla 2.9 Coeficiente de inercia de bombeo K

Longitud de tubería [m]	K
< 500	2
≈ 500	1.75
500 < L < 1500	1.5
≈ 1500	1.25
> 1500	1

Tabla 2.10 Coeficiente de efecto de otras energías C

Pendiente hidráulica i	C
< 20%	1
≈ 25%	0.8
≈ 30%	0.6
≈ 40%	0.4
> 50%	0

Por último, se calcula el golpe de ariete, tomando en cuenta lo siguiente:

Si la longitud crítica es mayor a la longitud de la tubería, se cumple que el tiempo de parada del agua es mayor al período de propagación de la onda,

significa que las instalaciones son cortas o los cierres son lentos, entonces se emplea la ecuación de Michaud:

$$\Delta H = \frac{2 * L * v}{g * T_p} \quad (2.20)$$

Caso contrario, si la longitud crítica es menor a la longitud de la tubería, se cumple que el tiempo de parada del agua es menor al período de propagación de la onda, significa que las instalaciones son largas o los cierres son rápidos, entonces se emplea la ecuación de Allievi:

$$\Delta H = \frac{a * v}{g} \quad (2.21)$$

2.1.18 Protección catódica por corriente impresa

A continuación, se detallan los cálculos realizados para la protección catódica que se empleará en el interior del tanque elevado.

Para el área a proteger se debe emplear las eficiencias recomendadas, para este caso se trata de un revestimiento tipo Tricapa con 98%:

Tabla 2.11 Eficiencias recomendadas del área a proteger en protección catódica

Eficiencias recomendadas			
Revestimiento tipo cinta	95%	Superficie descubierta	5%
Revestimiento tipo tricapa	98%	Superficie descubierta	2%

Por lo que el área a proteger es la multiplicación del área interior del tanque por 0.98.

La densidad de corriente se calcula con la siguiente ecuación:

$$J = 73.73 - 13.35 \log \rho \quad (2.22)$$

Donde la resistividad ρ depende de diversos factores como contenido de agua y las sales que están disueltas en estos.

**Tabla 2.12 Clasificación del suelo con respecto a su resistividad
(Fuente: Torres. J, Meraz. E, Veleva. J, 2017)**

Clasificación del suelo con respecto a su resistividad	
Resistividad del suelo [Ω -cm]	Clasificación del suelo
0 – 500	Muy corrosivo
500 – 1000	Corrosivo
1000 – 2000	Moderadamente corrosivo
2000 - 10000	Poco corrosivo
Más de 10000	Corrosión insignificante

La corriente de protección se obtiene de la siguiente forma:

$$I_{protección} = \frac{J * \text{área a proteger}}{1000} \quad (2.23)$$

Para la resistencia de la cama anódica:

$$\Omega_{anódica} = \frac{0.00159 \rho}{NL} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 + \frac{2L}{S} \ln 0.656 N \right) \quad (2.24)$$

Donde:

N: número de ánodos requeridos

L: longitud de ánodos más el relleno

d: diámetro de ánodos más el relleno

S: espaciamiento entre ánodos

La resistencia del circuito es la suma entre la resistencia de la cama anódica más la resistencia de conductores eléctricos.

El voltaje del rectificador se lo calcula mediante:

$$V_{rectificador} = I_{protección} * \Omega_{anódica} + V_{regreso} \quad (2.25)$$

Donde el voltaje de regreso es el voltaje adicional que el rectificador debe vencer.

2.1.19 Áreas para cálculo de pintura del tanque elevado

A continuación, se muestran las fórmulas empleadas para el cálculo de las áreas de las distintas estructuras del tanque elevado para conocer la cotización de la pintura a usar.

Para el área de los tubos principales, tubos secundarios, tubos laterales y tubería de descarga e impulsión:

$$A = 2\pi r h n \quad (2.26)$$

Donde r es el radio, h la altura y n la cantidad de tubos o tuberías en la estructura del tanque.

Para el área de los casquetes del tanque elevado:

$$A = \pi(r^2 + h^2) \quad (2.27)$$

Para el área de las placas de empalme:

$$A = b * h * n \quad (2.28)$$

Donde b es el ancho, h el alto y n el número de placas.

Finalmente, para el área de las escaleras y los peldaños:

$$A = 2\pi r h n \quad (2.29)$$

Donde r es el radio de los largueros, h es la altura y n es el número de largueros para el caso de las escaleras; mientras que, para los peldaños, r es el radio, h la altura y n el número de los mismos.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Pintura

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos para el sistema de pintura, cotizaciones y procedimientos a seguir.

3.1.1 Cálculo de áreas del tanque elevado

Empleando desde la ecuación 2.26, hasta la 2.29, se obtiene:

Tabla 3.1 Áreas del tanque elevado y su estructura

Áreas del tanque elevado y su estructura				
Partes		Área [m ²]	Área total [m ²]	Área total más 15%
Área externa	Tanque	259.96	1234.86	1420.09
	Plataforma del tanque	55.69		
	Escaleras	17.79		
	Tuberías	835.10		
	Placas de empalme	17.28		
	Plataforma y cerchas del nivel 3	49.04		
Área interna	Tanque	259.51	260	298

3.1.2 Cotización de pintura externa y diluyente

Con las áreas a pintar obtenidas, se procedió a cotizar las opciones de pintura. A continuación, se muestran las tablas.

Tabla 3.2 Opción 1 de pintura para exterior del tanque

Pintura para el exterior del tanque		
OPCIÓN 1		
Parámetros	Capa 1	Capa 2
	DURAPLATE 301 W	ACROLON 218 HS
Costo por litro de pintura	\$ 37.77	\$ 52.28
Costo por litro del primer	\$ 22.63	No necesita
Costo por litro de diluyente	\$ 8.00	\$ 8.34
dft recomendada [µm]	100-150	75-150
dft [µm]	125	100
% SV	97	65
wft [µm]	129	154
# Capas	1	1
Tasa de rendimiento [m ² /l]	7.76	6.50
Disolvente [%]	10	10
Área a pintar [m ²]	1420.09	1420.09
Volumen [l]	183	218.48
Pérdidas [l]	82.35	98.31
Volumen compra +45% [l]	265.35	216.79
Costo de pintura por capa	\$ 16 027.28	\$ 16 561.78
Total de pintura	\$ 32 589.06	
Disolvente		
OPCIÓN 1		
Parámetros	Capa 1	Capa 2
	THINNER 111	THINNER 112
Costo por litro	\$ 8.00	\$ 8.34
Disolvente [%]	10	10
Disolvente [l]	26.54	31.68
Costo de disolvente por capa	\$ 212.28	\$ 264.20
Total de disolvente	\$ 476.48	
TOTAL DE PINTURA MÁS DILUYENTE	\$ 33 065.55	

Tabla 3.3 Opción 2 de pintura para exterior del tanque

Pintura para el exterior del tanque		
OPCIÓN 2		
Parámetros	Capa 1	Capa 2
	HEMPEL'S GALVOSIL 15700	HEMPADUR 15570
Costo por litro de pintura	\$ 22.54	\$ 20.60
Costo por litro del primer	No necesita	No necesita
Costo por litro de diluyente	\$ 6.78	\$ 14.33
dft recomendada [μm]	50-100	50-125
dft [μm]	60	100
% SV	64	54
wft [μm]	94	185
# Capas	1	1
Tasa de rendimiento [m^2/l]	10.67	5.40
Disolvente [%]	10	10
Área a pintar [m^2]	1420.09	1420.09
Volumen [l]	133.13	262.98
Pérdidas [l]	59.91	118.34
Volumen compra +45% [l]	193.04	381.32
Costo de pintura por capa	\$ 4 351.21	\$ 7 855.22
Total de pintura	\$ 12 206.43	
Disolvente		
OPCIÓN 2		
Parámetros	Capa 1	Capa 2
	HEMPEL'S THINNER 08700	HEMPEL'S THINNER 08450
Costo por litro	\$ 6.78	\$ 14.33
Disolvente [%]	15	10
Disolvente [l]	28.96	38.13
Costo de disolvente por capa	\$ 196.33	\$ 546.43
Total de disolvente	\$ 742.76	
TOTAL DE PINTURA MÁS DILUYENTE	\$ 12 949.18	

Comparando la tabla de costos de pintura externa para ambas opciones, la opción 2 tiene un costo menor, debido a que las pinturas de la opción 1, no se encuentran en el país, por lo que hay un costo adicional por importación.

3.1.3 Cotización de pintura interna

De la misma forma se cotizaron dos opciones de pintura para el interior del tanque.

Tabla 3.4 Opciones de pintura para interior del tanque

Pintura para el interior del tanque		
Parámetros	Opción 1	Opción 2
	MACROPROXY 646 PW	HEMPADUR MULTI STRENGTH 35530
Costo del litro de pintura	\$27.31	\$37.45
dft recomendada [μm]	75-150	250-350
dft [μm]	100	300
% SV	72	100
wft [μm]	139	300
# Capas	1	1
Tasa de rendimiento [m^2/l]	7.20	3.33
Disolvente [%]	0	0
Área a pintar [m^2]	300	300
Volumen [l]	41.67	90
Pérdidas [l]	18.75	40.50
Volumen compra +45% [l]	60.42	130.50
TOTAL DE PINTURA	\$ 1 649.98	\$ 4 887.23

Comparando la tabla de costos de pintura interna del tanque para ambas opciones, la opción 1 tiene un costo menor. En este caso, esta pintura sí se encuentra en el mercado.

3.1.4 Procedimiento para aplicación de pintura

A continuación, se muestra el procedimiento a seguir para la aplicación de la pintura al tanque y su estructura.

Tabla 3.5 Plan de acción para sistema de pintura

Plan de acción para sistema de pintura				
Ítem	Actividad	Duración estimada en horas	Responsables	Observaciones
1	Eliminar óxido y pintura deteriorada	8	Operadores	Aplicar desoxidante y removedor de pintura recomendada por el fabricante de la anterior pintura
2	Proceso de granallado a la estructura, tanque, plataformas y pasamanos	8	Proveedor	El proceso de granallado sirve para eliminar contaminantes
3	Mezcla de pintura seleccionada con su respectivo diluyente	1.5	Proveedor	Esperar 15 minutos aproximadamente y mezclar solo lo que se va a utilizar en un rango de 8 horas, puesto que luego se pierden sus propiedades
4	Aplicación de primera capa de pintura	16	Proveedor	El tiempo dependerá del personal asignado
5	Dejar reposar la primera capa a temperatura ambiente	2		El tiempo de secado dependerá de la temperatura ambiente y espesor de película de la primera capa
6	Aplicación de segunda capa de pintura	16	Proveedor	
7	Dejar reposar la segunda capa a temperatura ambiente	2		

3.2 Protección catódica al interior del tanque elevado

Empleando desde la ecuación 2.22 hasta la 2.25, se obtienen los resultados para la protección catódica.

Tabla 3.6 Resultados del sistema de protección catódica por corriente impresa

Parámetro	Cantidad	Unidad
Resistividad (medio electrolito: agua)	6 000	$\Omega * cm$
Área del activo o estructura	259.51	m^2
Área a proteger (Activo por eficiencia de revestimiento)	254.32	m^2
Área a considerar por eficiencia de pintura (70% a 20 años)	76.30	m^2
Densidad de corriente	23.29	mA/m^2
Corriente de protección (considerando 15% de respaldo)	2.04	A
Selección de ánodo: MMO tubular Lida One 1x90, marca RCM		
Tasa de amperaje	0.5	$A/\text{ánodo}$
Vida útil del ánodo	20	años
Longitud del ánodo	228	cm
Diámetro del ánodo	2.5	cm
Número de ánodos requeridos	5	-
Número de ánodos escogidos	6	-
Espaciamiento entre ánodos	6	m
Resistencia de la cama anódica	5.44	Ω
Resistencia de conductores eléctricos (tabla)	0.084	Ω
Resistencia del circuito	5.52	Ω
Voltaje de regreso del rectificador	2	V
Voltaje del rectificador	13.1	V

Se debe seleccionar un rectificador de 13 V y 2 A, sin embargo, un rectificador con dichas características no hay en el mercado, por lo que se selecciona uno de 40 V y 10 A.

Tabla 3.7 Características del ánodo MMO tubular Lida One, marca PCM (Fuente: PCM)

Denominación	Longitud [cm]	Corriente máxima de drenaje (A/ánodo)	
		Agua salada	Agua dulce

		20 años	30 años	50 años	20 años	30 años	50 años
Tubular 2.5 x 50 XL	50	18	13	11	7	5	4
Tubular 2.5 x 100 XL	100	34	30	24	14	11	8
Lida ONE 1 x 45	114	10	8	6	4	3	2.5
Lida ONE 1 x 90	228	19	17	14	8	6	4

3.3 Soldadura del bypass

Para el llenado del formato WPS de soldadura de la derivación bypass se empleó la norma AWS D1.1/D1.1M:2015, del cual se obtuvo toda la información relacionada a los procesos de soldadura, juntas a utilizar, metal base, metal de aporte, características eléctricas y técnicas.

El único cálculo que se empleó fue el del carbono equivalente del metal base, que en este caso es ASTM A53 grado B.

$$C_{equiv} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (3.1)$$

El porcentaje de cada compuesto se muestra a continuación:

Tabla 3.8 Composición química del acero ASTM A-53 (Fuente: Grupo BS)

Composición química del ASTM A53									
Tipo S (sin costura)									
Grado	C	Mn	P	Su	Cu	Ni	Cr	Mo	V
A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08
B	0.3	1.2	0.05	0.045	0.4	0.4	0.4	0.15	0.08

Reemplazando se obtiene:

$$C_{equiv} = 0.3 + \frac{1.2}{6} + \frac{0.4 + 0.15 + 0.08}{5} + \frac{0.4 + 0.4}{15}$$

$$C_{equiv} = 0.68$$

El formato de soldadura WPS del bypass se encuentra en el Apéndice B.

3.4 Planes de mantenimiento preventivos

A continuación, se muestran los planes de mantenimiento preventivo e inspecciones rutinarias que se le deben realizar al tanque elevado.

3.4.1 Plan de mantenimiento preventivo para el bypass

Para el bypass, los principales elementos que pueden presentar fallas son las válvulas, en nuestro caso son tres, por lo tanto, es primordial generar un plan de mantenimiento preventivo para alargar la vida útil de estos equipos.

3.4.2 Inspecciones visuales y limpieza externa

Para actividades de inspección visual de los componentes y limpieza externa, se las puede realizar mensual, trimestral, semestral o anualmente, dependiendo de la cantidad de horas de operación que se encuentre el equipo o la carga de trabajo de la actividad. Para esto se emplea un Check List, como el que se muestra:

**Tabla 3.9 Formato del Check List para inspección visual del bypass
(Fuente: (Castillo & López, 2014))**

CHECK LIST EMPRESA:				
Fecha:	Servicio o aplicación			
Equipo:				
Marca:				
Modelo:	Ambiente			
Tipo de inspección: Visual	Clasificación			
Frecuencia:	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
1. Fugas				
2. Deformación en las conexiones				
3. Presencia de corrosión				
4. Fisuras				
5. Corrosión por picadura				
6. Acabado de pintura				
7. Ruidos				
8. Verificar placa de identificación				
Nombre y firma del encargado de la inspección				Cargo

3.4.3 Formato de inspección de válvulas

Es importante generar códigos de los equipos que componen la planta, esto ayudará a llevar un registro más sencillo de la cantidad de válvulas que se dispone, en este caso, se puede utilizar el siguiente formato:

**Tabla 3.10 Formato de inspección de válvulas del bypass
(Fuente: (Castillo & López, 2014))**

Código		Código	
Fecha		Fecha	
Versión		Versión	
Página		Página	
NO OPERAR		REVISADO	
Cargo ejecutante:		Cargo ejecutante:	
Tag de válvula:		Tag de válvula:	
Tipo de equipo:		Tipo de equipo:	
Fecha:		Fecha:	
FIRMA		FIRMA	

3.5 Plan de mantenimiento preventivo del tanque elevado

La siguiente tabla muestra el plan de mantenimiento preventivo del tanque elevado, el cual deberá de realizarse regularmente, para garantizar el su buen estado, la calidad del servicio y problemas mayores que supongan un mantenimiento correctivo con parones más prolongados.

**Tabla 3.11 Plan de mantenimiento preventivo del tanque elevado
(Fuente: (CARE Internacional - Avina, 2012))**

Plan de mantenimiento preventivo del tanque elevado				
Ítem	Actividad	Frecuencia	Responsables	Materiales
1	Revisar que estén cerradas las tapas y compuertas de las cámaras de válvulas	Diario	Operadores	Mortero, arena y herramientas apropiadas

2	Observar si hay grietas, fisuras o fugas			
3	Revisar si hay sedimentos en el tanque			
4	Proteger el agua del tanque de agentes externos extraños			
5	Limpiar los sedimentos del interior del tanque, sin el ingreso al mismo	Semanal	Operadores	Cepillo, manguera, balde, botas, llaves
6	Limpiar los sedimentos ingresando al tanque	Mensual	Operadores	Cepillo, manguera, balde, botas, llave
7	Revisar escaleras, tuercas y tornillos			
8	Revisar grietas o fugas desde el interior del tanque			
9	Revisar estado de la protección catódica.	Trimestral	Operadores	Inspección visual, equipos de medición eléctrica
10	Revisar estado de la estructura del tanque, cerchas, plataforma y pasamanos	Semestral	Operadores	Inspección visual
11	Pintar estructura del tanque, plataforma y exterior para proteger contra corrosión	Anual	Operadores	Pintura anticorrosiva, brocha, granallado

Dado que este plan de mantenimiento preventivo corresponde a actividades de limpieza, revisiones e inspecciones visuales del tanque y su estructura, puede ser realizado por los mismos operadores de la empresa potabilizadora, sin la necesidad de contratar a alguien externo para el trabajo.

3.6 Sistema de bypass

Lo que se verá a continuación, corresponde a las pérdidas por fricción en las tuberías de la planta potabilizadora, y el cálculo del golpe de ariete en el sistema de bypass.

3.6.1 Pérdidas en el bypass

Las pérdidas en el bypass fueron obtenidas con las fórmulas de Darcy-Weisbach. El factor de fricción de pérdidas en las tuberías fue obtenido mediante el diagrama de Moody.

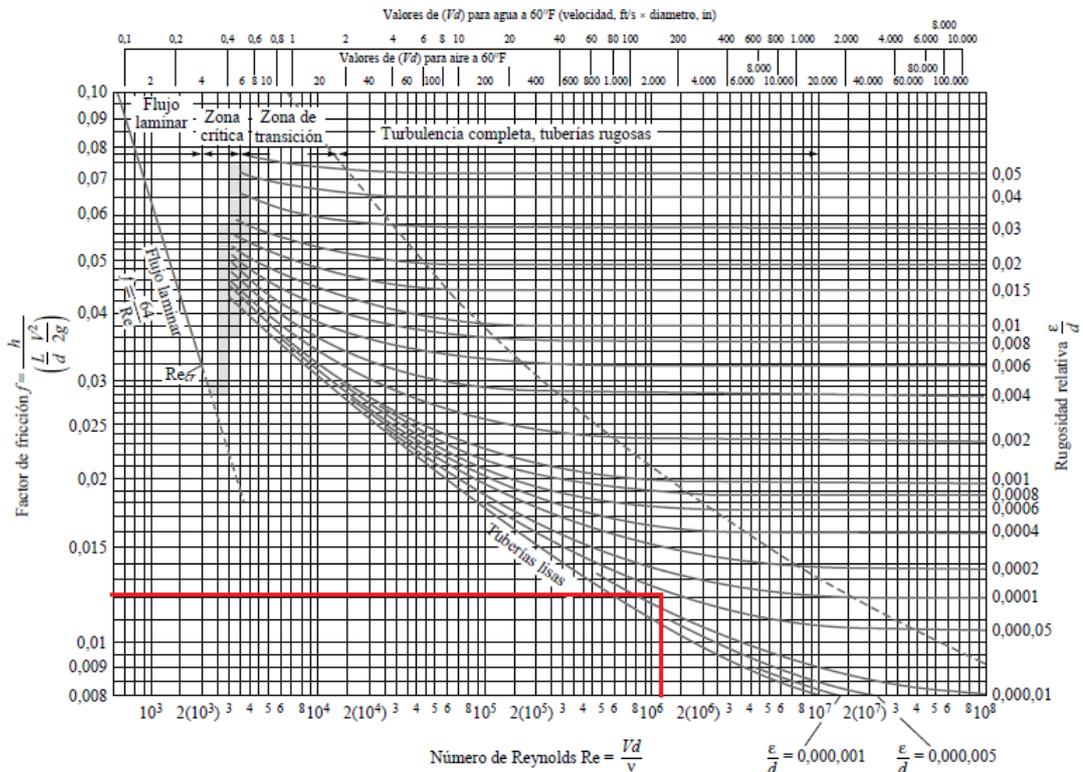


Figura 3.1 Factor de fricción en el bypass mediante el Diagrama de Moody

La tabla siguiente muestra los accesorios del bypass con su respectivo factor de pérdidas.

Tabla 3.12 Accesorios del bypass

Accesorio	Factor de pérdida (k)	Cantidad
Codo 45	0.4	1
Codo 90	0.9	3

Válvula de compuerta	5	1
Unión en T	0.1	1
Unión en Y	1.5	1

A continuación, se muestra las tablas de resultados de las pérdidas para el año 2021 y 2030:

Tabla 3.13 Pérdidas en el bypass en el año 2021

Parámetro	Valor	Unidades
Velocidad 1	0	m/s
Altura 1	-1.07	m
Presión 1	101 325	Pa
Velocidad 2	3.57	m/s
Altura 2	0.0741	m
Presión 2	101 325	Pa
Longitud de tubería total	82.77	m
Diámetro de tubería	0.476	m
Rugosidad de tubería	0.045	mm
Gravedad	9.81	m/s^2
Densidad del agua	997	kg/m^3
Viscosidad dinámica del agua	0.001002	$Pa \cdot s$
Número de Reynolds	1 690 840.36	-
Factor de fricción	0.013	-
Pérdida por fricción (h_f)	1.4684	m
Pérdida por accesorios (h_k)	5.3266	m
Pérdida total de bypass	8.5887	m

Tabla 3.14 Pérdidas en el bypass en el año 2030

Parámetro	Valor	Unidades
Velocidad 1	0	m/s
Altura 1	-1.07	m
Presión 1	101 325	Pa
Velocidad 2	2.80	m/s
Altura 2	0.0741	m

Presión 2	101 325	Pa
Longitud de tubería total	82.77	m
Diámetro de tubería	0.6375	m
Rugosidad de tubería	0.045	mm
Gravedad	9.81	m/s^2
Densidad del agua	997	kg/m^3
Viscosidad dinámica del agua	0.001002	Pa * s
Número de Reynolds	1 776 092.81	-
Factor de fricción	0.012	-
Pérdida por fricción (h_f)	0.6226	m
Pérdida por accesorios (h_k)	5.3266	m
Pérdida total de bypass	7.4929	m

Como se observa en la tabla 3.12, se trabajó con un diámetro externo de tubería de 700 mm, y un diámetro interno de 637.5 mm, esto se debe a que, con la tubería de 500 mm, la velocidad del agua en el interior supera el rango que establece la norma ecuatoriana.

3.6.2 Golpe de ariete

Empleando desde la ecuación 2.14 hasta la 2.21, se obtienen los resultados del golpe de ariete en el sistema de bypass.

Tabla 3.15 Datos para el cálculo de golpe de ariete para el año 2021

Datos de conducción		
Diámetro exterior	500	mm
Espesor	26	mm
Longitud de tubería	82.77	mm
Material de tubería	Acero ASTM A-53	--
Módulo de Young	21×10^9	kg/m^2
Coficiente representativo de elasticidad	0.4762	--
Datos de instalación		
Caudal	701.20	l/s
Velocidad	3.57	m/s
Altura geométrica	0.0741	m

Pérdidas por fricción	1.4756	<i>m</i>
Pérdidas por accesorios	11.3103	<i>m</i>
Altura manométrica	12.86	<i>m</i>
Pendiente hidráulica	10.64	%
Coeficiente K	2	--
Coeficiente C	1	--

Tabla 3.16 Golpe de ariete para el año 2021

Celeridad de conducción	1 311.50	<i>m/s</i>
Periodo de propagación de la onda de presión	0.1262	<i>s</i>
Tiempo de parada del agua	5.6860	<i>s</i>
Longitud crítica	3 728.62	<i>m</i>
Golpe de ariete	10.59	<i>m</i>

Tabla 3.17 Datos para el cálculo de golpe de ariete para el año 2030

Datos de conducción		
Diámetro exterior	700	<i>mm</i>
Espesor	62.5	<i>mm</i>
Longitud de tubería	82.77	<i>mm</i>
Material de tubería	Acero ASTM A-53	--
Módulo de Young	21 x 10 ⁹	<i>kg/m²</i>
Coeficiente representativo de elasticidad	0.4762	--
Datos de instalación		
Caudal	1077.6	<i>l/s</i>
Velocidad	2.80	<i>m/s</i>
Altura geométrica	0.0741	<i>m</i>
Pérdidas por fricción	0.6226	<i>m</i>
Pérdidas por accesorios	6.9533	<i>m</i>
Altura manométrica	7.65	<i>m</i>
Pendiente hidráulica	6.33	%
Coeficiente K	2	--
Coeficiente C	1	--

Tabla 3.18 Golpe de ariete para el año 2030

Celeridad de conducción	1 357.86	m/s
Periodo de propagación de la onda de presión	0.1219	s
Tiempo de parada del agua	7.1765	s
Longitud crítica	4 872.32	m
Golpe de ariete	6.58	m

Los accesorios empleados corresponden a 3 válvulas de compuerta, un codo de 90 radio largo, un codo de 45, una unión en T y una unión en Y. Tanto para el año 2021 como para el 2030 ocurrió que la longitud crítica es mayor a la longitud de tubería, por lo que el tiempo de parada es mayor al período de propagación de la onda, y por consiguiente corresponden a una instalación corta o cierre lento, y por ello se empleó la ecuación de Michaud. Por lo tanto, para ambos años el golpe de ariete ocurriría en la válvula de compuerta.

Con estos resultados obtenidos, se debe comprobar si la tubería o la válvula soportará la sobrepresión generada. Para ello se empleó la siguiente expresión:

$$H_g + \Delta H < PMA \quad (3.2)$$

Donde PMA es la presión máxima admisible en la tubería o en la válvula de compuerta.

Dado que, para esta instalación y tipo de cierre, el golpe de ariete ocurrirá en las válvulas de compuerta, se colocó la presión máxima que soportan, la cual es de 125 psi, equivalente a 88 metros de columna de agua.

Para el año 2021:

$$0.0741 + 10.6 < 88$$

$$10.67 < 88$$

Para el año 2030:

$$0.0741 + 6.58 < 88$$

$$6.65 < 88$$

Por lo tanto, las válvulas de compuerta de 125 psi soportarán el golpe de ariete generado, tanto para el año 2021 como para el 2030.

3.7 Red de distribución de la cabecera cantonal de Daule

A continuación, se presenta la red de distribución de la cabecera cantonal de Daule.

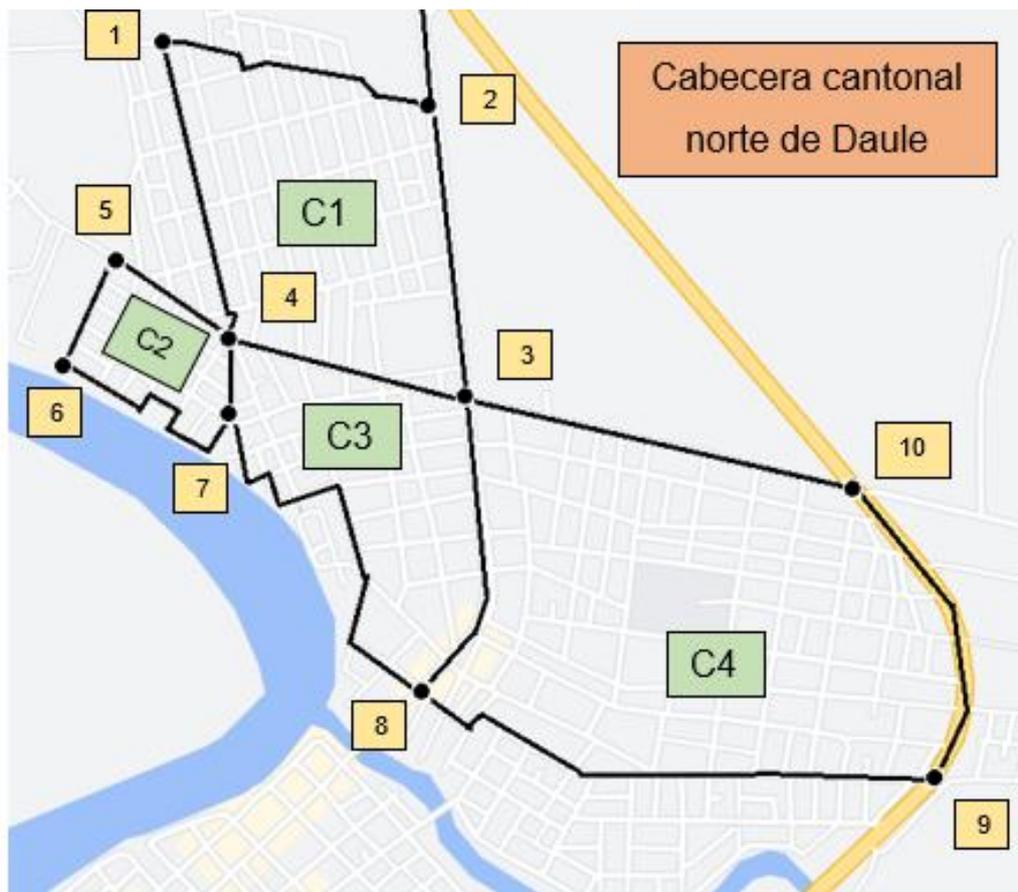


Figura 3.2 Red de distribución de la cabecera cantonal norte de Daule

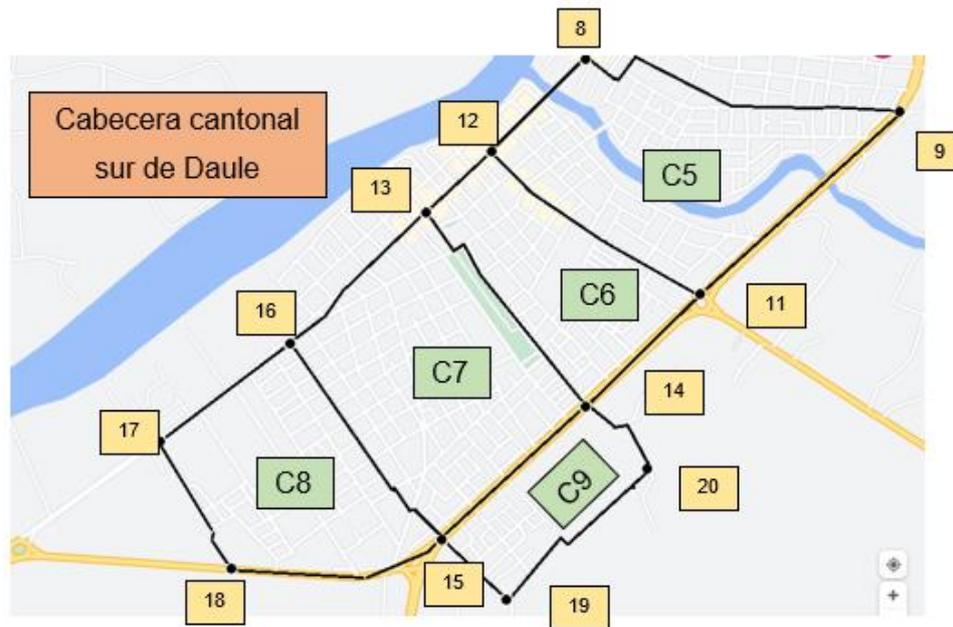


Figura 3.3 Red de distribución de la cabecera cantonal sur de Daule

Lo que se muestra a continuación, corresponden a las áreas de influencia que se consideraron para los cálculos hidráulicos.

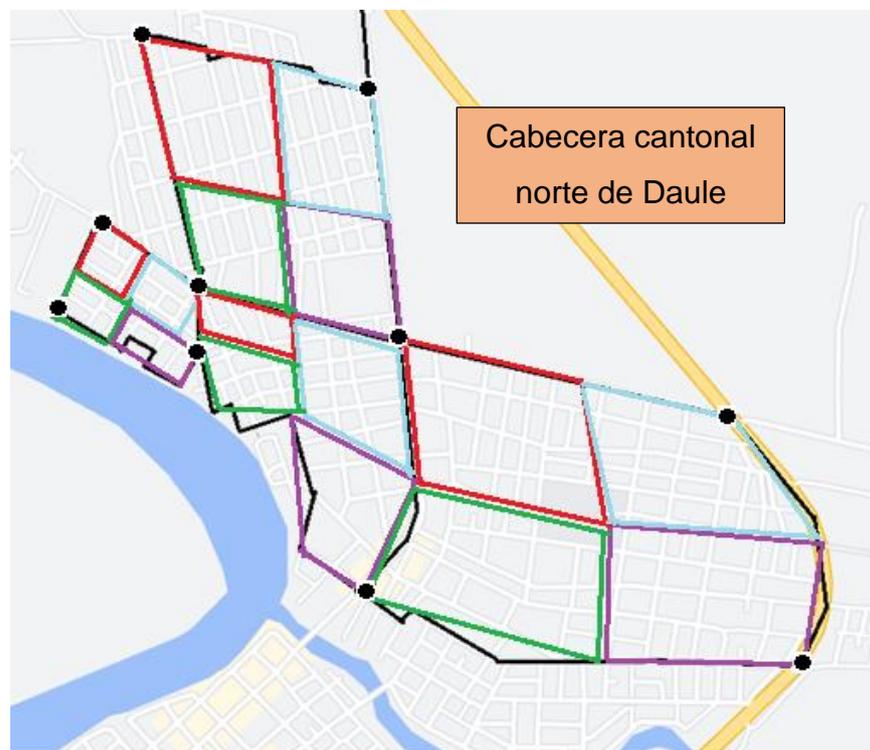


Figura 3.4 Área de influencia de cabecera cantonal norte de Daule

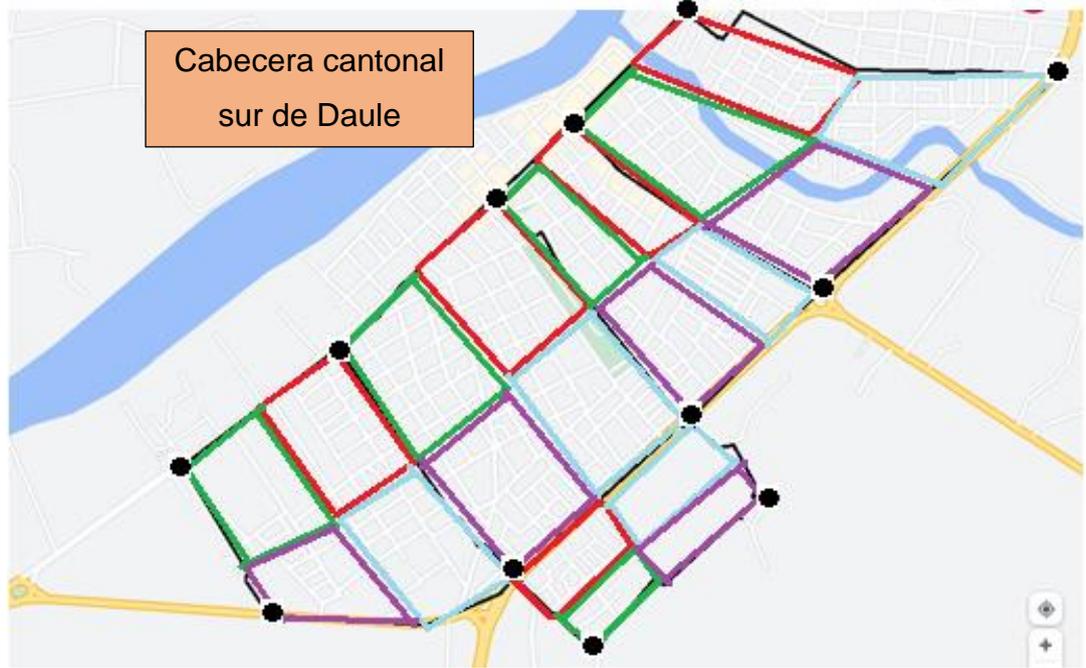


Figura 3.5 Área de influencia de cabecera cantonal sur de Daule

Para la determinación de la demanda en cada nodo para el año 2021, se asumió el área de influencia de cada uno, siendo sus dimensiones la mitad de la longitud de las tuberías que se conectan al mismo; mientras que para el año 2030, se añadió un área de influencia adicional en los extremos de ciertos nodos, simulando el crecimiento poblacional en la cabecera cantonal.

3.8 Resultados de caudales y pérdidas en la red de distribución

Como se puede apreciar en la red de distribución, se cuentan con 9 circuitos o mallados y 25 nodos, sumando la cabecera cantonal de Daule y los recintos de Las Ánimas (nodo 21), Las Maravillas (nodo 22), Naupe (nodo 23) y Magro (nodo 24). El nodo 25 corresponde a la salida de la planta potabilizadora.

La tabla siguiente muestra las longitudes de cada tramo de tubería en metros, obtenidos mediante Google Maps.

Tabla 3.19 Longitudes de tramos de tuberías de la red de distribución

TRAMO	LONGITUD UNITARIA		
1-2	710	12-11	890
2-3	640	11-14	530
3-4	520	14-13	910
4-1	760	13-12	310
5-4	330	13-14	910
4-7	180	14-15	680
7-6	510	15-16	900
6-5	260	16-13	650
4-3	520	16-15	900
3-8	670	15-18	770
8-7	820	18-17	540
7-4	180	17-16	580
3-10	820	14-20	350
10-9	739	20-19	692
9-8	1160	19-15	320
8-3	670	15-14	680
8-9	1160	2-21	2100
9-11	930	11-22	4600
11-12	890	25-23	1500
12-8	480	17-24	1900
12-11	890	25-5	90
		26-25	90

La longitud total de toda la red de distribución de tuberías de la cabecera cantonal de Daule y de los recintos aledaños es de 33 841 metros.

Con ello, haciendo uso de las ecuaciones 2.7 y 2.8 del método del área unitaria, se obtuvieron los caudales en cada nodo.

Tabla 3.20 Caudales en los nudos - Año 2021

Año 2021			
Nodos	Áreas de influencia [ha]	Caudal unitario [l/s]	Caudal del nudo [l/s]
1	13.49	0.78	10.50
2	48.635	0.78	37.84
3	43.885	0.78	34.14
4	19.975	0.78	15.54
5	2.4375	0.78	1.90
6	3.315	0.78	2.58
7	5.985	0.78	4.66
8	56.925	0.78	44.29

9	48.401	0.78	37.66
10	15.1495	0.78	11.79
11	200.385	0.78	155.90
12	17.5775	0.78	13.68
13	21.84	0.78	16.99
14	38.115	0.78	29.65
15	44.225	0.78	34.41
16	27.675	0.78	21.53
17	33.48	0.78	26.05
18	10.395	0.78	8.09
19	5.536	0.78	4.31
20	6.055	0.78	4.71
21	37.275	0.78	29.00
22	167.9	0.78	130.63
23	3.375	0.78	2.63
24	25.65	0.78	19.96
25	3.5775	0.78	2.78
Consumo máximo horario en 2021			701.20

Tabla 3.21 Caudales en los nudos - Año 2030

Año 2030			
Nodos	Áreas de influencia [ha]	Caudal unitario [l/s]	Caudal del nudo [l/s]
1	53.96	0.93	50.27
2	97.27	0.93	90.61
3	43.885	0.93	40.88
4	19.975	0.93	18.61
5	5.46	0.93	5.09
6	3.315	0.93	3.09
7	5.985	0.93	5.58
8	56.925	0.93	53.03
9	96.802	0.93	90.18
10	60.598	0.93	56.45
11	200.385	0.93	186.67
12	17.5775	0.93	16.37
13	21.84	0.93	20.35
14	38.115	0.93	35.51
15	44.225	0.93	41.20
16	27.675	0.93	25.78
17	33.48	0.93	31.19
18	41.58	0.93	38.73
19	22.144	0.93	20.63
20	24.22	0.93	22.56

21	37.275	0.93	34.72
22	167.9	0.93	156.41
23	3.375	0.93	3.14
24	25.65	0.93	23.89
25	7.155	0.93	6.67
Consumo máximo horario en 2030			1077.60

Se observa que la suma de los caudales en cada nodo es igual al consumo máximo horario correspondiente en cada año, siendo el del 2030 mucho mayor que el del 2021, debido al incremento poblacional.

Se introdujeron los datos de la red de distribución en el software EPANET desarrollado por la universidad politécnica de Valencia para generar los resultados para cada nodo y tubería.

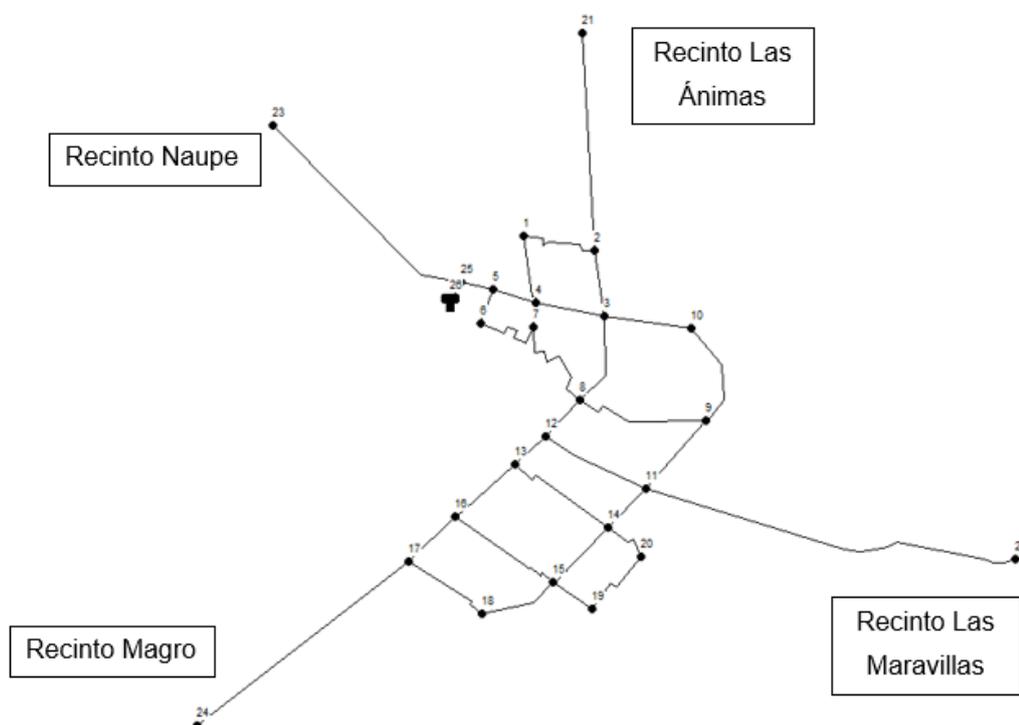


Figura 3.6 Red de distribución de la cabecera cantonal de Daule en Epanet

Las tablas de resultados obtenidos con el software, correspondientes a velocidades, presiones, caudales y pérdidas para la población de 2021 y 2030 se encuentran en el Apéndice A.

Las gráficas de a continuación, muestran la presión en cada nudo y la velocidad del agua en las tuberías, tanto para la red de distribución del año 2021 y del 2030.

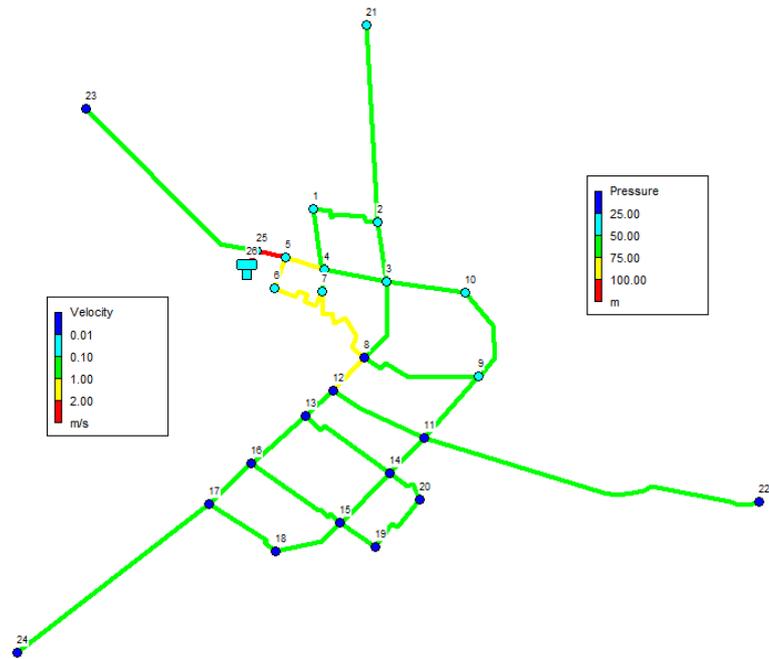


Figura 3.7 Presión en nodos y velocidad en tuberías, año 2021

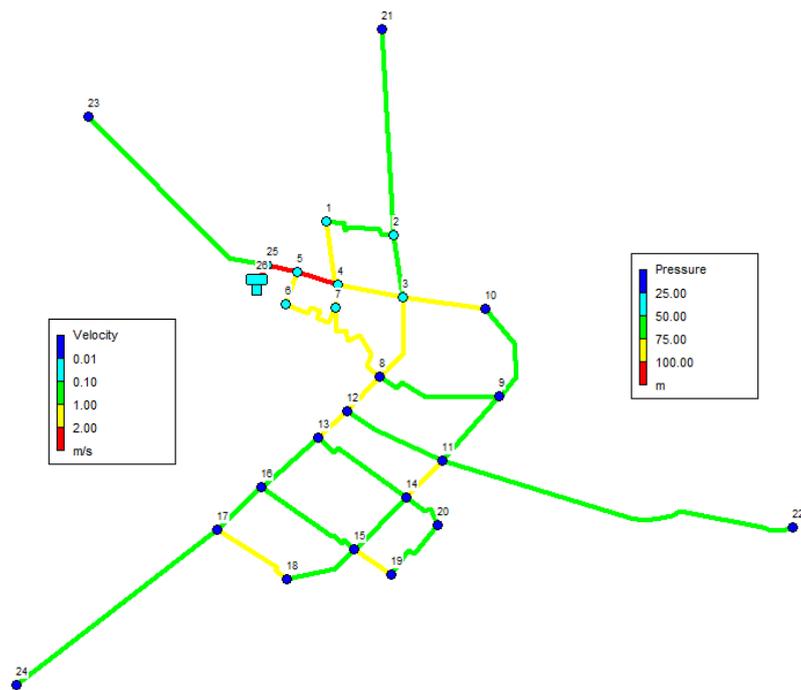


Figura 3.8 Presión en nodos y velocidad en tuberías, año 2030

Para la población del 2030, se deben realizar cambios de 11 tuberías para satisfacer la nueva demanda. Estas tuberías se encuentran resaltadas en la siguiente tabla:

Tabla 3.22 Comparación de diámetros entre el año 2021 y 2030

	Año 2021	Año 2030
	Diámetro	Diámetro
	mm	mm
Tubería 12	600	600
Tubería 23	500	500
Tubería 41	600	600
Tubería 65	600	600
Tubería 47	400	400
Tubería 76	600	600
Tubería 34	355	355
Tubería 310	400	400
Tubería 38	400	400
Tubería 87	600	600
Tubería 109	400	400
Tubería 98	600	600
Tubería 128	600	600
Tubería 1312	500	500
Tubería 911	600	600
Tubería 1114	250	250
Tubería 1112	600	600
Tubería 1413	250	250
Tubería 1613	400	500
Tubería 1716	355	400
Tubería 1817	90	160
Tubería 1415	200	250
Tubería 1516	200	250
Tubería 1518	90	200
Tubería 1915	50	110
Tubería 2019	75	110
Tubería 1420	110	200
Tubería 221	250	250
Tubería 2625	600	800
Tubería 1122	500	500
Tubería 2523	75	75
Tubería 1724	200	200
Tubería 54	600	600
Tubería 255	600	800

La tabla siguiente muestra la comparación de la potencia requerida para el año 2021 y 2030. En las pérdidas en la red de distribución, no se están considerando las pérdidas en las tuberías de transporte desde la cabecera cantonal hasta los recintos.

Tabla 3.23 Comparación de la potencia requerida para el año 2021 y 2030

Pérdidas y potencia requerida		
Año	2021	2030
Pérdida en la red de distribución	31.85 m	42.25 m
Pérdida en el bypass	8.59 m	7.49 m
Pérdida total	40.43 m	49.75 m
Potencia requerida de bombeo	437.29 HP	538.03 HP

3.9 Configuración del sistema de bombeo para el abastecimiento de agua

Con la información para las estaciones de bombeo obtenidas en los cálculos anteriores, se diseñaron configuraciones del sistema de bombeo que cumpla y satisfaga la demanda para los años 2021 y 2030.

3.9.1 Sistema de bombeo actual de la planta potabilizadora de agua

Actualmente, la planta potabilizadora cuenta con tres bombas, de las cuales dos se encuentran en operación y una en stand by. Las bombas y sus curvas de rendimiento son las siguientes:

**Tabla 3.24 Sistema de bombeo actual de la planta potabilizadora
(Fuente: Planta Potabilizadora de agua)**

Bomba	Marca	Modelo	Caudal máximo [GPM]	Cabecal máximo [pies]	Potencia [HP]
Bomba 1 (Principal)	Peerless	20 HXB 3STG	7 000	198.8	420
Bomba 2 (Acompañante)	Peerless	8AE15	4 649.6	189.15	163
Bomba 3 (Stand by)	Peerless	8AE15	4 649.6	189.15	163

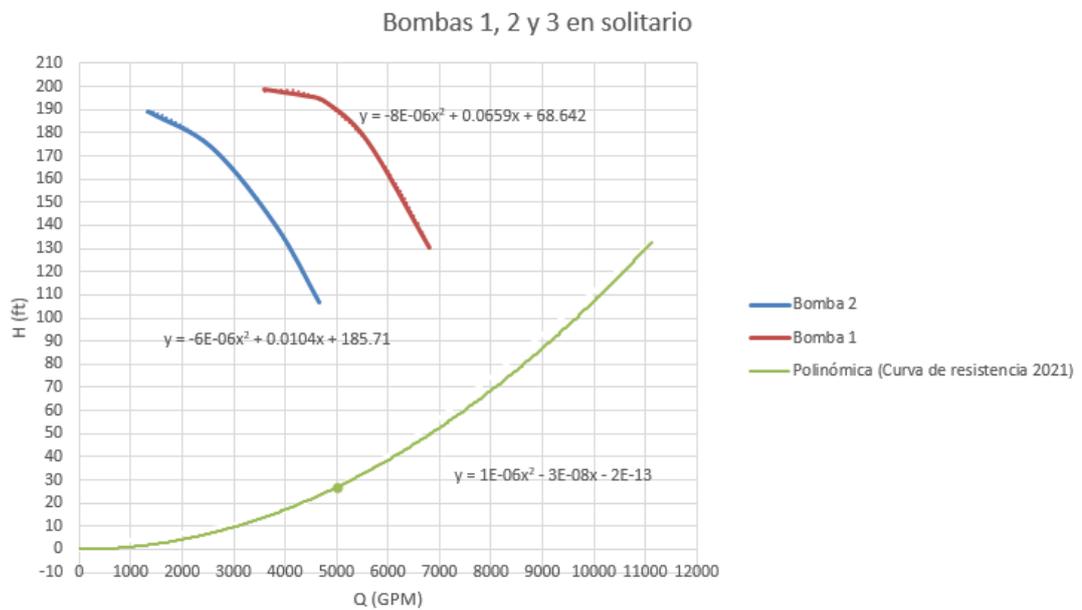


Figura 3.9 Curvas de rendimiento del sistema de bombeo actual

3.9.2 Configuración del sistema de bombeo para el año 2021

Con un consumo de 11 111.1 GPM y 132.41 pies de cabezal necesarios para el abastecimiento de la población para el año 2021, la configuración del sistema de bombeo que logra satisfacer dicha demanda es colocar la bomba 1 y bomba 2 en paralelo. La curva de rendimiento es:

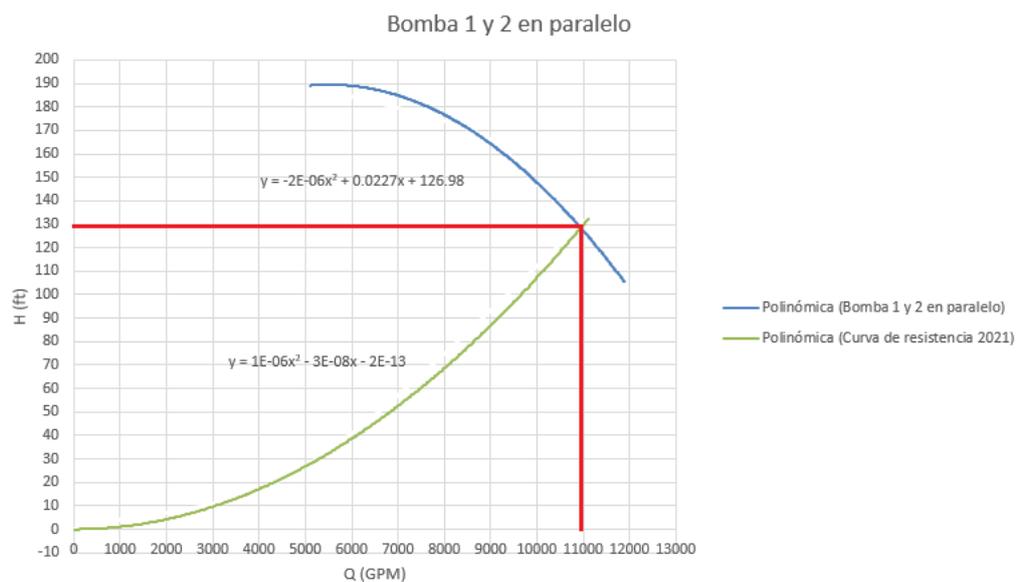


Figura 3.10 Curva de rendimiento de la bomba 1 y bomba 2 en paralelo

Como se puede apreciar en la Figura 3.17, el punto de operación de la configuración en paralelo de las bombas 1 y 2 se encuentra en 11 000 GPM y 129 pies.

3.9.3 Configuración del sistema de bombeo para el año 2030

Con un consumo de 17 080.3 GPM y 163.19 pies de cabezal necesarios para el abastecimiento de la población para el año 2030, la configuración del sistema de bombeo que logra satisfacer dicha demanda es colocar la bomba 1, bomba 2 y bomba 3 en paralelo con la bomba 1. La curva de rendimiento es:

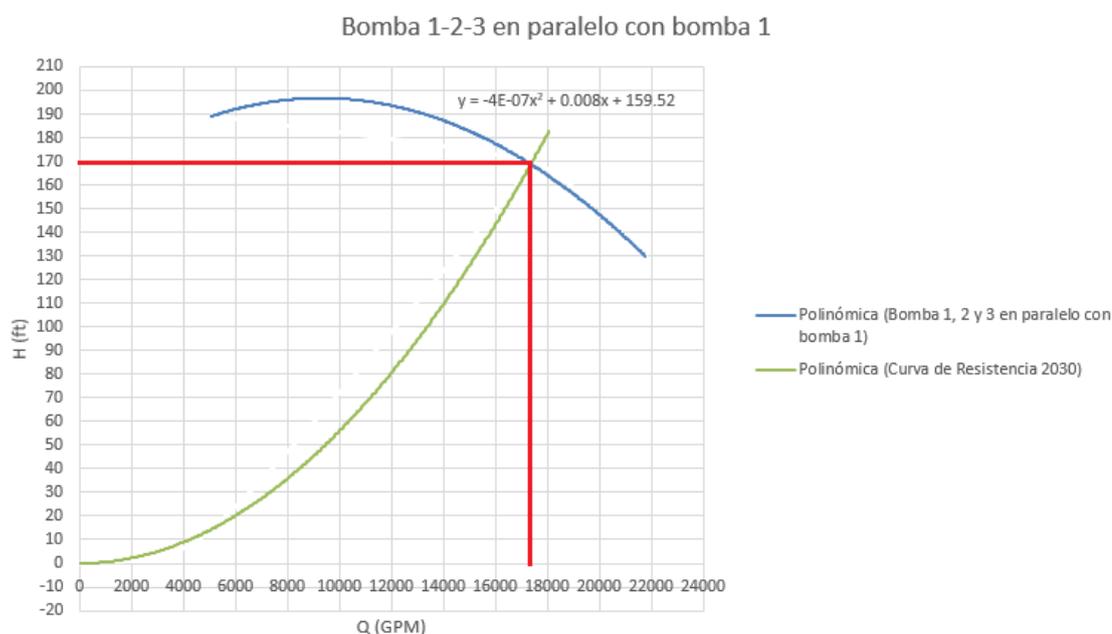


Figura 3.11 Curva de rendimiento de bombas 1, 2, 3 en paralelo con bomba 1

Como se puede apreciar en la Figura 3.18, el punto de operación de la configuración en paralelo de las bombas 1, 2 y 3 con la bomba 1, se encuentra en 17 200 GPM y 169 pies.

3.9.4 Eficiencia del sistema de bombeo

La gráfica de a continuación, muestra las curvas de eficiencia de las bombas 1 y 2 empleadas en las dos configuraciones, para el 2021 y 2030.

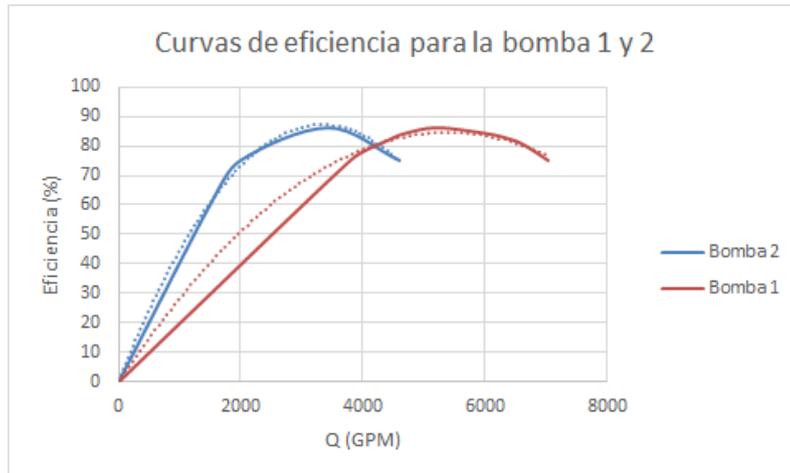


Figura 3.12 Curvas de eficiencia para la bomba 1 y bomba 2

Curva de eficiencia bomba 1

$$n_{b1} = -3 \times 10^{-6} Q^2 + 0.0315 Q$$

Curva de eficiencia bomba 2

$$n_{b2} = -8 \times 10^{-6} Q^2 + 0.0523 Q$$

Para 2021 se conoce el punto de operación para las bombas en paralelo se encuentra en 11 000 GPM y 129 pies, a ese mismo cabezal, a través de la Figura 3.16, las bombas 1 y 2 se encuentran a 6900 y 4100 GPM respectivamente, por lo tanto, las eficiencias de las bombas 1 y 2 en paralelo son:

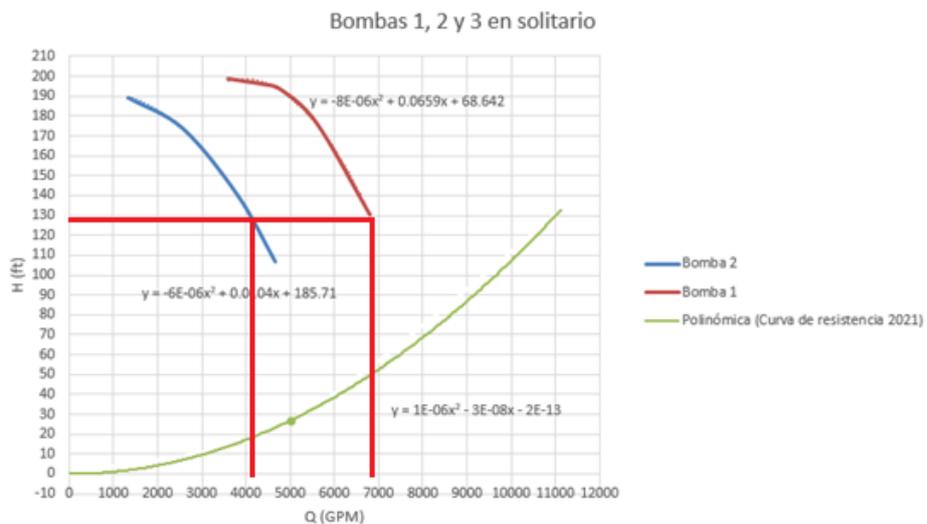


Figura 3.13 Caudal para bomba 1 y 2 en cabezal de operación (2021)

$$n_{b1} = -3 \times 10^{-6} (6900)^2 + 0.0315 (6900) = 74.52\%$$

$$n_{b2} = -8 \times 10^{-6} (4100)^2 + 0.0523 (4100) = 79.95\%$$

Para 2030 se conoce que el punto de operación se encuentra en 17 200 GPM y 169 pies, por lo tanto, a ese mismo cabezal las bombas 1 y 2 se encuentran a:

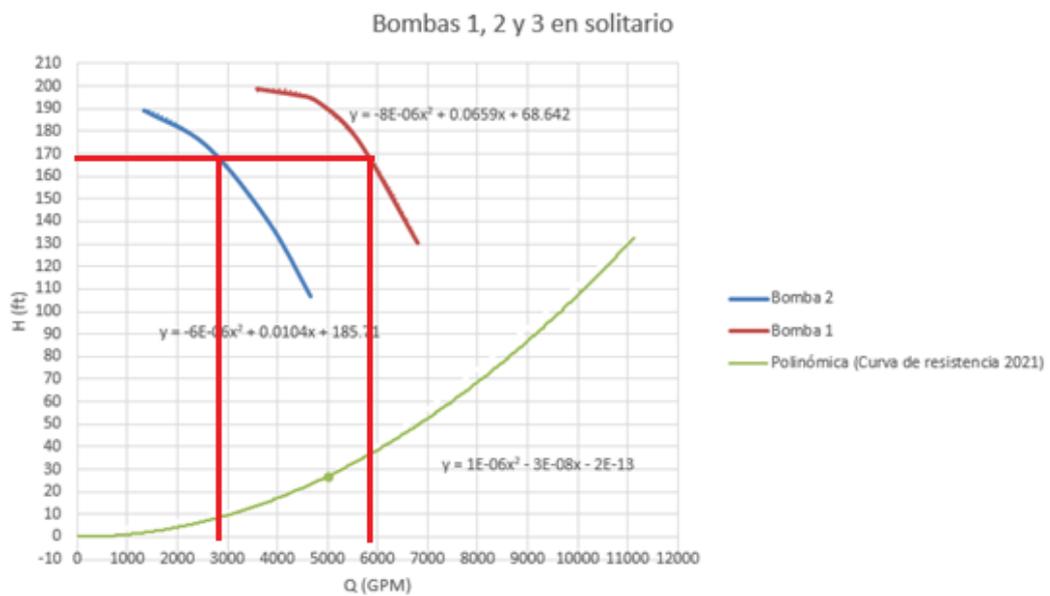


Figura 3.14 Caudal para bomba 1 y 2 en cabezal de operación (2030)

$$n_{b1} = -3 \times 10^{-6} (5900)^2 + 0.0315 (5900) = 81.42\%$$

$$n_{b2} = -8 \times 10^{-6} (2800)^2 + 0.0523 (2800) = 83.72\%$$

En 2030 se encuentran 4 bombas en operación, sin embargo, la bomba 2 y 3 son iguales, y la bomba 4 es igual a la bomba 1, por lo tanto:

$$n_{b1} = n_{b4}$$

$$n_{b2} = n_{b3}$$

3.9.5 Bombas requeridas en los recintos abastecidos

Parte de la solución planteada para abastecer la demanda de la población actual y a futuro, se propone la instalación de pequeñas bombas en cada

recinto abastecido por la planta potabilizadora, con la finalidad de que la cabecera cantonal sea suministrada solo con las bombas actuales de la planta. Se muestra la información de las mismas, tomando en cuenta los datos del año 2030.

Tabla 3.25 Potencia de las bombas requeridas en cada recinto

Tubería	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Longitud [m]	Pérdidas [m]	Eficiencia %	Potencia requerida [HP]
Tubería 221 (Las Ánimas)	34.72	0.71	2 100	3.55	70	2.30
Tubería 1122 (Las Maravillas)	156.41	0.8	4 600	4.32	75	11.82
Tubería 2523 (Naupe)	3.14	0.71	1 500	10.43	65	0.66
Tubería 1724 (Magro)	23.89	0.76	1 900	4.77	75	1.99

3.10 Simulación del comportamiento del fluido en el bypass

Se hizo el diseño del bypass a través de ANSYS para simular el comportamiento del fluido con respecto a la presión y velocidad. Los parámetros que se utilizó como inicio, fue la una velocidad de 3.5 m/s obtenido del consumo $0.694 \text{ m}^3/\text{s}$ y el diámetro de la tubería del sistema, adicional colocando una presión de 45 psi (tomado de manómetros), como parámetro de salida se tomó la presión de 43 psi (tomado de manómetros).

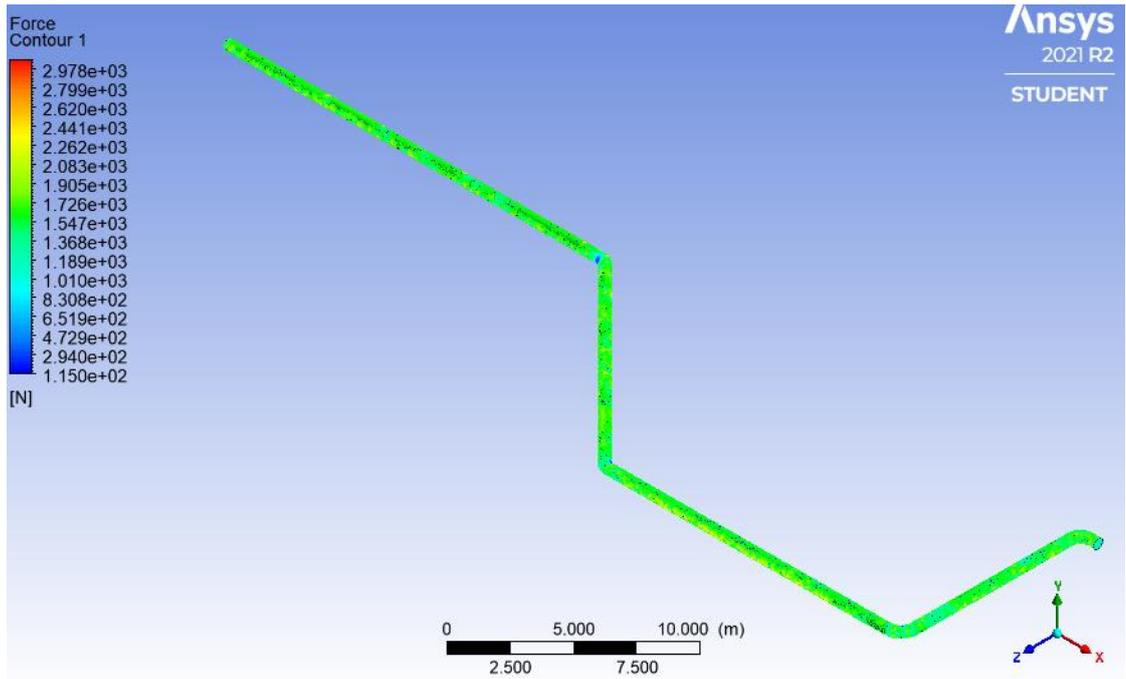


Figura 3.15 Comportamiento del fluido con respecto a la fuerza

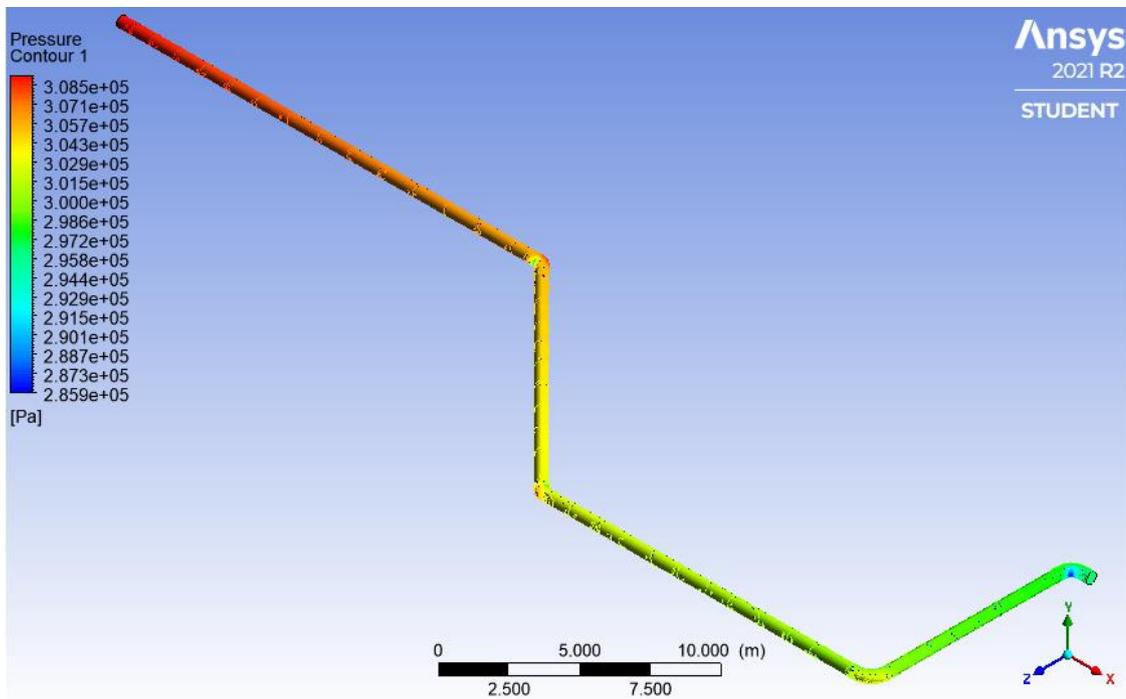


Figura 3.16 Comportamiento del fluido con respecto a la presión

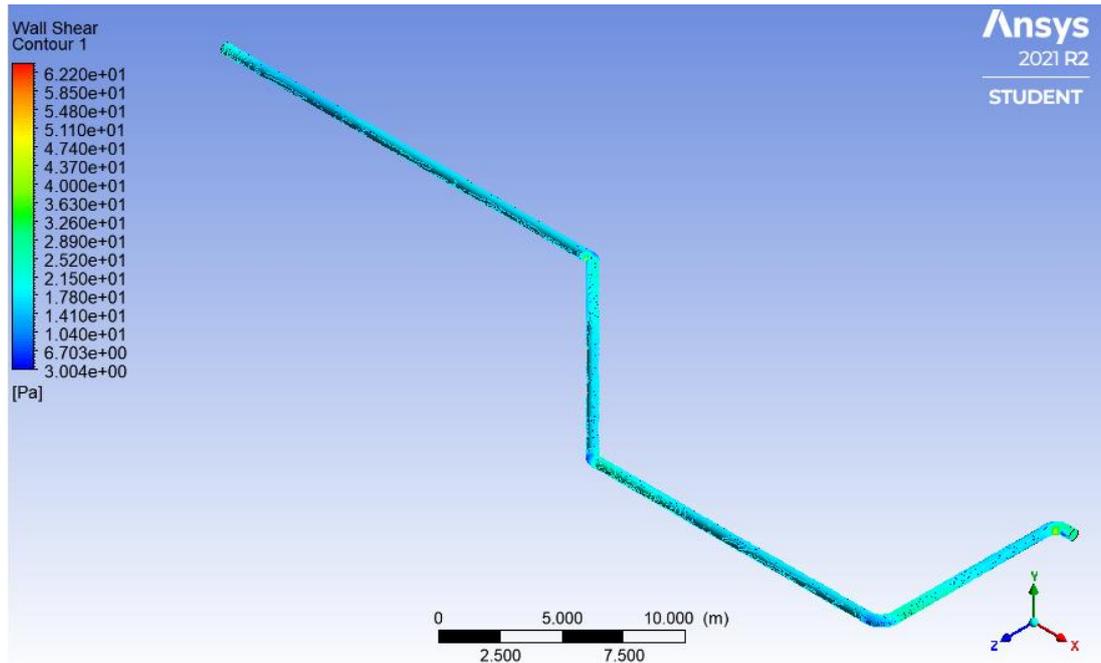


Figura 3.17 Comportamiento del fluido con respecto a los esfuerzos

3.11 Análisis de costos del proyecto

A continuación, se muestran las cotizaciones del mantenimiento del tanque elevado, construcción del bypass, y de las bombas requeridas.

Tabla 3.26 Cotización de construcción del bypass

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Acero ASTM A53 Grado B – Tubos sin costura de 500 mm	25.19	Ton	\$ 730.00	\$ 18 366.80
Acero ASTM A53 Grado B – Codo de 90 radio largo de 500 mm	1	--	\$ 945.69	\$ 945.69
Acero ASTM A53 Grado B – Codo de 45 de 500 mm	2	--	\$ 871.67	\$ 1 743.34
Acero ASTM A53 Grado B – Unión en T de 500 mm	0.27	Ton	\$ 730.00	\$ 197.10
Acero ASTM A53 Grado B – Unión en Y de 500 mm	0.23	Ton	\$ 730.00	\$ 167.90

Válvula de compuerta bridada clase 125 de 500 mm	3	--	\$ 6 179.00	\$ 18 537.00
Mano de obra - Soldador	2	--	\$ 1 200.00	\$ 2 400.00
Mano de obra – Ayudante de soldador	2	--	\$ 600.00	\$ 1 200.00
Mano de obra – Proveedor para instalación	1	--	\$ 800.00	\$ 800.00
TOTAL				\$ 44 357.83

Tabla 3.27 Cotización de pintura

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Pintura interna	60.42	Litros	--	\$ 1 649.48
Pintura externa (pintura más diluyente)	641.45	Litros	--	\$ 12 949.18
Mano de obra – Pintores	4	--	\$ 600.00	\$ 2 400.00
Granalla de acero angular de dureza 40 a 68 RC	1718.09	m ²	\$ 0.20	\$ 343.62
TOTAL				\$ 17 342.28

Tabla 3.28 Cotización de protección catódica

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Rectificador	1	--	--	\$ 1 593.08
Ánodos	6	--	--	\$ 12 000.00
Mano de obra – Supervisor	1	--	\$ 1 500	\$ 1 500
Mano de obra – Técnicos	2	--	\$ 1 000	\$ 2 000
TOTAL				\$ 17 093.08

Tabla 3.29 Cotización de bombas para el sistema de bombeo de la planta

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
Bomba Peerless 20 HXB 3STG 420 HP	1	--	\$ 50 000.00	\$ 50 000.00

Bomba Peerless 8AE15 163 HP (Stand by)	1	--	\$ 25 000.00	\$ 25 000.00
TOTAL				\$ 75 000.00

Tabla 3.30 Cotización de las bombas para recirculación en los recintos

Tuberías de transporte	Potencia de bomba requerida [HP]	Precio
Tubería 221	2.30	\$ 4 316.67
Tubería 1122	11.82	\$ 9 502.84
Tubería 2523	0.66	\$ 2 252.17
Tubería 1724	1.99	\$ 3 345.00
TOTAL		\$ 19 416.68

Tabla 3.31 Costo total del proyecto

Construcción del bypass	\$ 44 357.83
Sistema de pintura	\$ 17 342.28
Sistema de protección catódica	\$ 17 093.08
Sistema de bombeo de la planta	\$ 75 000.00
Sistema de bombeo de recirculación	\$ 19 416.68
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	\$ 173 209.87

Como se observa en las tablas anteriores, se consideraron todas las áreas del mantenimiento del tanque elevado y construcción del bypass, dando un costo total de \$ 173 209.87, siendo mucho menor a los costos de las otras tres alternativas propuestas.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. Se diseñó un sistema hidráulico de bypass, capaz de satisfacer la demanda actual de 2021 y la demanda futura de 2030, pudiendo operar como sistema alternante o como sistema principal de la planta potabilizadora de Daule.
2. Dado que, el tanque elevado actual fue construido hace más de 10 años, en donde el consumo de la cabecera cantonal de Daule era mucho menor que el actual, se planteó la alternativa de un segundo tanque de mayor capacidad y altura para satisfacer la demanda actual y a futuro, sin embargo, el costo de este se eleva a los \$ 4 683 822, debido al crecimiento poblacional.
3. La alternativa del bypass más sistema de bombeo, con una cotización de \$ 173 209.87, resulta la más económica con respecto a las alternativas de un segundo tanque elevado (\$ 4 683 822), una cisterna de hormigón armado (\$ 1 006 773) y variadores de frecuencia para tres bombas (\$ 745 157), además de que es la solución más adecuada tomando en cuenta que se trata de un sistema emergente de solución inmediata.
4. Para el año 2021, se requiere una configuración en paralelo de la bomba 1 (Peerless 20HXB 3STG) con la bomba 2 (Peerless 8AE15), y para el año 2030, una configuración en paralelo de las tres bombas actuales más la bomba 1 en paralelo.
5. Debido a que el último censo fue realizado en 2010, se tuvo que hacer una proyección a futuro para obtener la población que se abastece en 2021 y la que se abastecerá en 2030, siendo esta última muy elevada, reflejándose así en el consumo máximo horario, dando como resultado 580 HP de potencia para que abastezca el sistema de bombeo.
6. Se analizaron las pérdidas por fricción en la planta potabilizadora, para el año 2030 la velocidad del agua en las tuberías sobrepasa los 2.5 m/s que establece la norma, pudiendo ocasionar erosión y desgaste interno.

7. A través de ANSYS, se simuló el comportamiento del fluido en el bypass, donde se evidenció la pérdida de presión que existe, observando que la mayor variación de presión ocurre en los accesorios.
8. A través de Epanet se evidenció que la mayor cantidad de pérdidas ocurren en las tuberías de transporte que conectan la cabecera cantonal y los recintos.
9. También se pudo evidenciar que, la velocidad en todas las tuberías de la red de distribución se encuentra dentro del rango que exige la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-11, entre 0.5 m/s y 2.5 m/s.
10. Para el pintado externo del tanque y su estructura, se requiere del uso de 574.37 litros de pintura anticorrosiva, y para pintado interno se necesitan 60.42 litros de pintura epóxica de grado alimenticio.
11. Debido a las dimensiones del tanque, se necesita aplicar protección catódica mediante corriente impresa, por la ineficiencia del método de ánodos de sacrificio para superficies grandes; para lo cual se necesita un rectificador de 40 V y 10 A.
12. Se generó un plan de mantenimiento preventivo que incluye inspecciones visuales al bypass, y mantenimientos al tanque con frecuencias específicas, sin embargo, esta frecuencia es estándar, y puede ajustarse a la producción de la planta potabilizadora.
13. El tiempo de ejecución que involucra el mantenimiento integral del tanque elevado y su estructura, y la construcción del bypass es de 1 mes.

4.2 Recomendaciones

1. Debido a que las pérdidas en 2021 son de 56.9 m, de los cuales 16.54 m son de las tuberías de transporte desde la cabecera cantonal a los recintos, y en 2030 son de 76.63 m, siendo de 23.07 m en las tuberías de transporte, se recomienda la instalación de pequeños sistemas de rebombeo en cada recinto para la reducción del cabezal requerido en el sistema de bombeo de la planta potabilizadora.
2. Se recomienda realizar el cambio a las tuberías de succión y descarga de la planta potabilizadora, aumentando su diámetro a 700 mm, cuyo costo de instalación sería aproximadamente de \$ 107 877.58.

3. Para el año 2030, se recomienda realizar cambios a 11 tuberías de la red de distribución, cuyos diámetros se especifican en la tabla 3.16, con la finalidad de que el flujo de agua se encuentre en el rango de 0.5 m/s y 2.5 m/s.
4. Dado que las mayores pérdidas ocurren en las tuberías de transporte que conectan la cabecera cantonal con los recintos, se recomienda como solución adicional colocar bombas en los nodos de las tuberías de transporte, con la finalidad de disminuir las pérdidas del sistema de bombeo de la planta.
5. Se recomienda adaptar la frecuencia del plan de mantenimiento preventivo del tanque y del bypass de acuerdo a la capacidad de producción de la planta potabilizadora.
6. Dado que los variadores de frecuencia reducen el consumo energético de la planta, se recomienda la instalación para cada una de las bombas a utilizar en el sistema de bombeo ya que, pese a su alto costo, reduciría la cantidad de energía utilizada generando beneficios inmediatos, y recuperación de inversión a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcalá, L. (2011). *Elaboración de una guía de control de calidad en soldaduras para la fabricación de puentes peatonales tipo IDU basados en las especificaciones contractuales*. Bogotá, Colombia.
- Baldocchi, D. (2006). *Lecture 35 Soil Physics, Moisture Transfer in Soils, Part 2*. California, United States: University of California, Berkeley.
- Baque, R., Simba, L., González, B., Suatunce, P., Díaz, E., & Cadme, L. (2016). *Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador*. Quevedo, Ecuador.
- Callolini, J. C. (2009). *Mantenimiento preventivo*. México.
- CARE Internacional - Avina. (2012). *Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades. Módulo 5. Operación y mantenimiento de sistemas de agua potable*. Ecuador.
- Castillo, E., & López, J. (2014). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo en las válvulas del sistema de bypass para la empresa Zon Franca Celsia S.A. E.S.P de la ciudad de Barranquilla*. Barranquilla, Colombia.
- Cengel, Y. (2016). *Mecánica de fluidos: Fundamentos y Aplicaciones*. México: McGraw-Hill.
- Chulluncuy, N. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima, Perú.
- Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios. (2007). *Protección catódica en tanques de almacenamiento*. México.
- CONAGUA. (s.f.). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de redes de agua potable*. México.
- Duarte, L. (2006). *Fundamentos de mantenimiento preventivo y correctivo en equipos de cómputo*. México: McGraw-Hill.
- Empresas Públicas de Medellín. (2017). *Norma de Construcción para la instalación de válvulas mariposa en conducciones*.

- Empresas Públicas de Medellín. (2017). *Norma de construcción para la instalación de válvulas mariposa para la red de distribución secundaria de acueducto*.
- Flores, M. (2005). *Consideraciones para el diseño y fabricación de recipientes a presión y tanques atmosféricos*. Saltillo, México.
- Francia, S. (2004). *Protección catódica - Diseño de ánodos de sacrificio*. Lima, Perú: Revista del Instituto de Investigación FIGMMG.
- García, S. (2009). *Ingeniería de mantenimiento: Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento industrial*. Fuenlabrada, España.
- González, Ó. (2015). *Sistemas de agua y perforación de pozos mecánicos en arquitectura*. Guatemala.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. México: McGraw-Hill.
- Hernández, E. (2017). *Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua, se dispondrá en el Laboratorio de aguas de la Universidad Católica de Colombia*. Bogotá, Colombia.
- Hjellseth, M., Ouile, O., Roste, L. B., & Sanz, J. M. (2018). *Diseño de una válvula Bypass*. Noruega.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1997). *Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Quito, Ecuador.
- Interagua. (2015). *Norma Técnica de Diseño: Construcción de Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado*. Guayaquil, Ecuador.
- Lahlou, M. (s.f.). *Golpe de ariete*. Morgantown, Estados Unidos: National Environmental Services Center.
- López, N. (2018). *Mantenimiento preventivo y correctivo a servidores a través de manuales de procedimientos en una organización gubernamental*. Valle de Chalco Solidaridad, México.
- Monserate, J. (2016). *Propuesta de sistema Booster para la urbanización Colinas del Bosque, perteneciente a la ciudad de Guayaquil, Provincia del Guayas, ubicado en el km 10.5 Vía a la Costa*. Guayaquil, Ecuador.

- Norma Regional CAPRE. (1993). *Normas de calidad del agua para consumo humano*. Centroamérica, Panamá, República Dominicana.
- Oliveras, J. (2015). *Cómo calcular golpe de ariete*. España.
- Organización Panamericana de Salud. (2005). *Guía para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. Lima, Perú.
- Peralta, C., & Serrano, O. (2010). *Especificaciones de procedimiento e inspección de soldadura en la fabricación de virolas para pilote de un puente aplicando el código AASTHO/AWS D1.5*. Guayaquil, Ecuador: ESPOL.
- Quiroz, D. (2016). *Construcción e implementación de un sistema de bombeo de tanques elevados controlados por un PLC*. Quito, Ecuador.
- Rivera, C. (2018). *Influencia del tanque elevado en la respuesta sísmica de edificaciones aporticadas de concreto armado, Pueblo libre, Lima – 2018*. Lima, Perú.
- Sousa, C. D., Correia, A., & Colmenares, M. C. (2010). *Corrosión e incrustaciones en los sistemas de distribución de agua potable: Revisión de las estrategias de control*. Carabobo, Venezuela.
- Torres, J., Ebelia, M., & Veleza, L. (2017). *Evaluación de un sistema de protección catódica de un gasoducto enterrado*. Caracas, Venezuela.
- Varela, A., & Monroy, M. F. (s.f.). *Cavitación en los sistemas de bombeo*. Bogotá, Colombia: Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central.

APÉNDICES

Apéndice A

Resultados de la red de distribución para la población del 2021

- TesisDaule2021.net

View Project Report Window Help

Network Table - Nodes				
Node ID	Base Demand LPS	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc 2	37.84	37.84	34.38	27.38
Junc 1	10.50	10.50	34.74	26.74
Junc 4	15.54	15.54	35.16	28.16
Junc 3	34.14	34.14	34.06	29.06
Junc 5	1.90	1.90	35.89	28.89
Junc 6	2.58	2.58	35.57	29.57
Junc 7	4.66	4.66	34.95	26.95
Junc 10	11.79	11.79	33.37	26.37
Junc 8	44.29	44.29	33.30	24.30
Junc 9	37.66	37.66	32.91	25.91
Junc 11	155.90	155.90	32.45	24.45
Junc 14	29.65	29.65	31.67	24.67
Junc 15	34.41	34.41	30.40	23.40
Junc 19	4.31	4.31	26.03	20.03
Junc 20	4.71	4.71	29.79	24.79
Junc 12	13.68	13.68	32.73	24.73
Junc 13	16.99	16.99	32.51	22.51
Junc 16	21.53	21.53	31.85	22.85
Junc 17	26.05	26.05	31.49	24.49
Junc 18	8.09	8.09	28.05	22.05
Junc 21	29.00	29.00	31.84	25.84
Junc 25	2.78	2.78	36.44	31.44
Junc 22	130.63	130.63	29.36	22.36
Junc 23	2.63	2.63	28.94	20.94
Junc 24	19.96	19.96	28.07	22.07
Tank 26	#N/A	-701.22	37.00	30.00

Off LPS 100% X,Y: 9323.25, 9267.52

Junc 24	19.96	19.96	28.07	22.07
Tank 26	#N/A	-701.22	37.00	30.00

Off LPS 100% X,Y: 9323.25, 9267.52



Network Table - Links

Link ID	Length m	Diameter mm	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km
Pipe 12	710	600	179.84	0.64	0.50
Pipe 23	640	500	-113.00	0.58	0.51
Pipe 41	760	600	-190.34	0.67	0.55
Pipe 65	260	600	292.34	1.03	1.23
Pipe 47	180	400	96.84	0.77	1.14
Pipe 76	510	600	-289.76	1.02	1.21
Pipe 34	520	355	98.84	1.00	2.13
Pipe 310	820	400	81.74	0.65	0.84
Pipe 38	670	400	95.96	0.76	1.12
Pipe 87	820	600	-381.95	1.35	2.02
Pipe 109	739	400	69.95	0.56	0.63
Pipe 98	1160	600	-146.16	0.52	0.34
Pipe 128	480	600	287.46	1.02	1.19
Pipe 1312	310	500	133.39	0.68	0.70
Pipe 911	930	600	178.45	0.63	0.49
Pipe 1114	530	250	32.31	0.66	1.48
Pipe 1112	890	600	140.39	0.50	0.32
Pipe 1413	910	250	25.19	0.51	0.93
Pipe 1613	650	400	91.22	0.73	1.02
Pipe 1716	580	355	50.85	0.51	0.62
Pipe 1817	540	90	-4.84	0.76	6.37
Pipe 1415	680	200	20.38	0.65	1.87
Pipe 1516	900	200	-18.84	0.60	1.61
Pipe 1518	770	90	3.25	0.51	3.05

LPS 100% X,Y: -4371.02, 6863.06

Pipe 1915	320	50	1.56	0.79	13.65
Pipe 2019	692	75	-2.75	0.62	5.45
Pipe 1420	350	110	-7.46	0.79	5.34
Pipe 221	2100	250	-29.00	0.59	1.21
Pipe 2625	90	600	701.22	2.48	6.21
Pipe 1122	4600	500	130.63	0.67	0.67
Pipe 2523	1500	75	2.63	0.60	5.00
Pipe 1724	1900	200	19.96	0.64	1.80
Pipe 54	330	600	401.57	1.42	2.21
Pipe 255	90	600	695.81	2.46	6.12

LPS 100% X,Y: -3479.30, 5031.85

Resultados de la red de distribución para la población del 2030

jele2030.net

ject Report Window Help

Node ID	Base Demand LPS	Demand LPS	Head m	Pressure m
Junc 2	90.61	90.61	32.85	25.85
Junc 1	50.27	50.27	33.62	25.62
Junc 4	18.61	18.61	34.75	27.75
Junc 3	40.88	40.88	32.31	27.31
Junc 5	5.09	5.09	36.40	29.40
Junc 6	3.09	3.09	35.71	29.71
Junc 7	5.58	5.58	34.40	26.40
Junc 10	56.45	56.45	30.66	23.66
Junc 8	53.03	53.03	31.04	22.04
Junc 9	90.18	90.18	30.13	23.13
Junc 11	186.67	186.67	29.49	21.49
Junc 14	35.51	35.51	27.45	20.45
Junc 15	41.20	41.20	26.64	19.64
Junc 19	20.63	20.63	22.01	16.01
Junc 20	22.56	22.56	26.07	21.07
Junc 12	16.37	16.37	29.96	21.96
Junc 13	20.35	20.35	29.47	19.47
Junc 16	25.78	25.78	28.95	19.95
Junc 17	31.19	31.19	28.52	21.52
Junc 18	38.73	38.73	25.48	19.48
Junc 21	34.72	34.72	29.30	23.30
Junc 25	6.67	6.67	36.69	31.69
Junc 22	156.41	156.41	25.18	18.18
Junc 23	3.14	3.14	26.27	18.27

.PS 100% X,Y: 6664.01, 1114.65

Junc 24	23.89	23.89	23.76	17.76
Tank 26	#N/A	-1077.61	37.00	30.00

LPS 100% X,Y: 6664.01, 1114.65

Network Table - Links					
Link ID	Length m	Diameter mm	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km
Pipe 12	710	600	273.36	0.97	1.08
Pipe 23	640	500	-148.03	0.75	0.85
Pipe 41	760	600	-323.63	1.14	1.48
Pipe 65	260	600	439.71	1.56	2.62
Pipe 47	180	400	129.19	1.03	1.95
Pipe 76	510	600	-436.62	1.54	2.58
Pipe 34	520	355	151.57	1.53	4.69
Pipe 310	820	400	131.41	1.05	2.01
Pipe 38	670	400	127.30	1.01	1.90
Pipe 87	820	600	-560.24	1.98	4.10
Pipe 109	739	400	74.96	0.60	0.71
Pipe 98	1160	600	-228.83	0.81	0.78
Pipe 128	480	600	405.68	1.43	2.25
Pipe 1312	310	500	205.57	1.05	1.56
Pipe 911	930	600	213.61	0.76	0.69
Pipe 1114	530	250	54.27	1.11	3.86
Pipe 1112	890	600	183.73	0.65	0.52
Pipe 1413	910	250	40.32	0.82	2.23
Pipe 1613	650	500	144.90	0.74	0.81
Pipe 1716	580	400	75.66	0.60	0.72
Pipe 1817	540	160	-20.58	1.02	5.64
Pipe 1415	680	250	28.67	0.58	1.18
Pipe 1516	900	250	-43.46	0.89	2.56
Pipe 1518	770	200	18.15	0.58	1.51

100% X,Y: 6871.02, 8025.48

Pipe 1915	320	110	12.78	1.34	14.47
Pipe 2019	692	110	-7.85	0.83	5.87
Pipe 1420	350	200	-30.41	0.97	3.92
Pipe 221	2100	250	-34.72	0.71	1.69
Pipe 2625	90	800	1077.61	2.14	3.39
Pipe 1122	4600	500	156.41	0.80	0.94
Pipe 2523	1500	75	3.14	0.71	6.95
Pipe 1724	1900	200	23.89	0.76	2.51
Pipe 54	330	600	623.00	2.20	4.99
Pipe 255	90	800	1067.80	2.12	3.33

100% X,Y: 6871.02, 8025.48

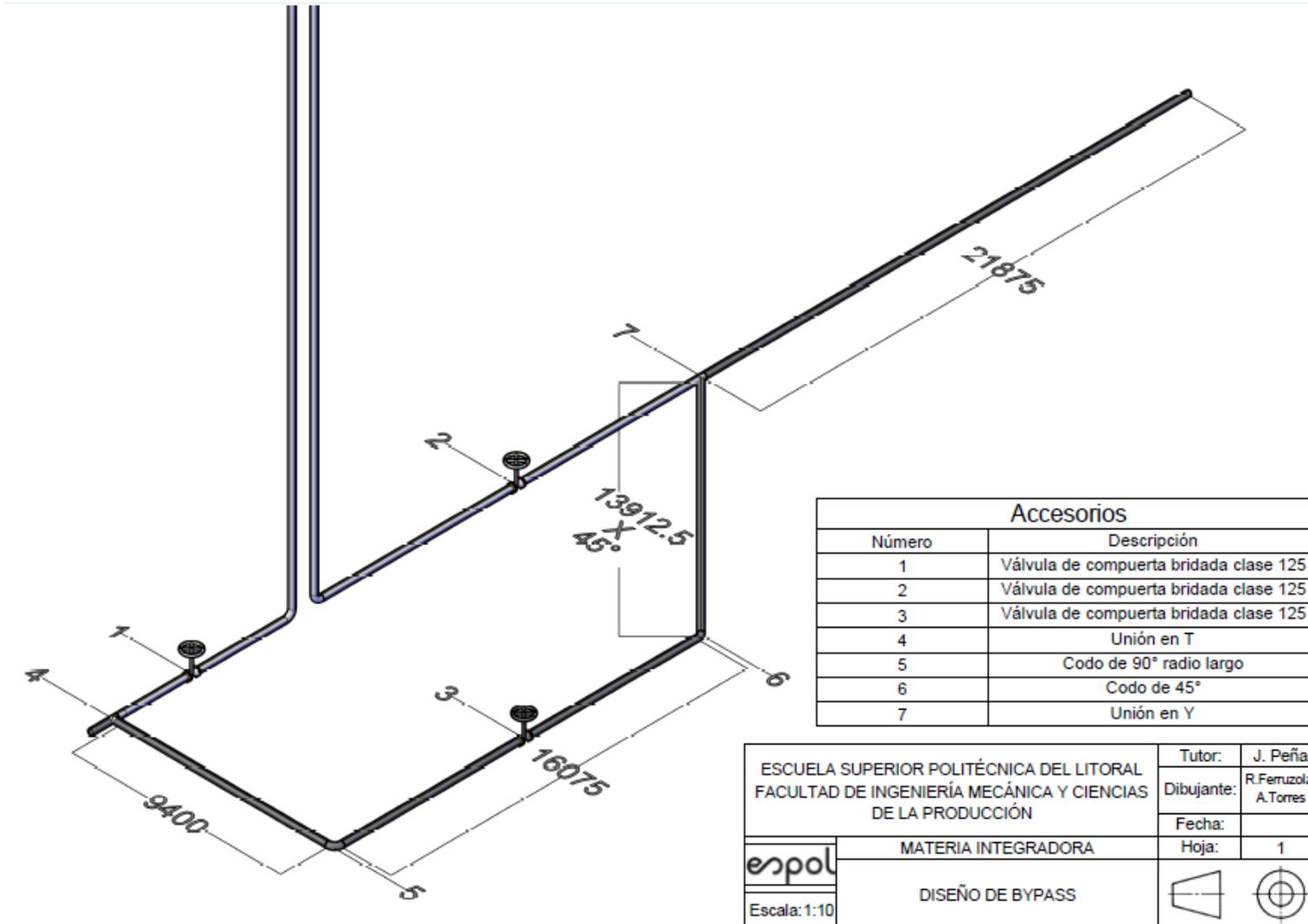
Apéndice B

Formato WPS de soldadura del bypass

Nombre de la Compañía:				Identificación N°:					
Proceso(s) de soldadura: SMAW				Revisión: 01		Fecha: 28-07-2021			
Soporte PQR N°(1): Precalificado				Elaborado por: RAÚL FERRUZOLA, ARIEL TORRES					
Diseño de la junta usada: B-U2				Tipo:		Manual : <input checked="" type="checkbox"/>			
Tipo: A tope - Bisel 60°				Maquina : <input type="checkbox"/>		Semiautomático : <input type="checkbox"/>			
Simple : <input checked="" type="checkbox"/>		Doble: <input type="checkbox"/>		POSICIÓN					
Respaldo: Si: <input type="checkbox"/>		No : <input checked="" type="checkbox"/>		Posición : 5G					
Material de respaldo: N/A				Progresión : -----					
Abertura de Raíz (R): 1/8 in		Dimensión cara raíz (pulg)		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS					
tolerancia: +1/16, -0 in		f : 1/8 in		Modo de transferencia (GMAW): N/A					
Ángulo de bisel(α): 60°; +10°, -0°		Globular : <input type="checkbox"/>				Pulverizado : <input type="checkbox"/>			
Soldadura de respaldo		Sí : <input type="checkbox"/>		No : <input checked="" type="checkbox"/>		Corto circuito: <input type="checkbox"/>			
METAL BASE				Corriente:		CA : <input type="checkbox"/>			
Especificación del material: ASTM A53				Otro: ---		CCEP: <input checked="" type="checkbox"/>			
Tipo o Grado : Grado B				Electrodo de Tungsteno (GTAW): N/A		CCEN : <input type="checkbox"/>			
Espesor (T1) : 26 mm		Filete : ---		Tamaño: N/A		Pulsado: <input type="checkbox"/>			
Diámetro (tubo) : 500 mm		TÉCNICA				Tipo: N/A			
Carbono equivalente: 0.68		Arrastre u oscilación: Ambos							
METAL DE APORTE				Pasada simple o múltiple (por cara): Múltiple					
Especificación AWS: AWS A5.1/A5.1M-04				Número de electrodos : 2					
Clasificación AWS : E6011				Espaciado de electrodos: ---					
Nombre Comercial : CELULÓSICO AWS E6011				Longitudinal: ---					
PROTECCIÓN		Fundente: N/A		Gas: N/A		Ángulo: ---			
Composición del Gas : N/A				Distancia de contacto del tubo a la pieza de trabajo: 3/4 1 in					
Fundente-electrodo (clase) : N/A				Forjado : ---					
Ratio de alimentación : N/A				Limpieza entre pasadas: Escoria removida					
Tamaño de la copa : N/A									
PRECALENTAMIENTO				TRATAMIENTO TÉRMICO POST SOLDADURA					
Temperatura de precalentamiento, mínima: N/A				Temperatura : N/A					
Temperatura entre pases, mínima : N/A				Tiempo : N/A					
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA									
Pase (s)	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje (V)	Velocidad de avance (mm/s)	Detalles de la Junta	
		Clase	Diám. (mm)	Tipo y polaridad	Amperaje (A)				
1	SMAW	E6011	2.40	DC(+)	65	20	5.5		
2	SMAW	E7018	2.40	DC(+)	65	22	6		
3	SMAW	E7018	2.40	DC(+)	65	22	6		
4	SMAW	E7018	2.40	DC(+)	65	22	6		
V°B° SUPERVISOR				V°B° ING. QC				V°B° SUPERVISIÓN	

Apéndice C

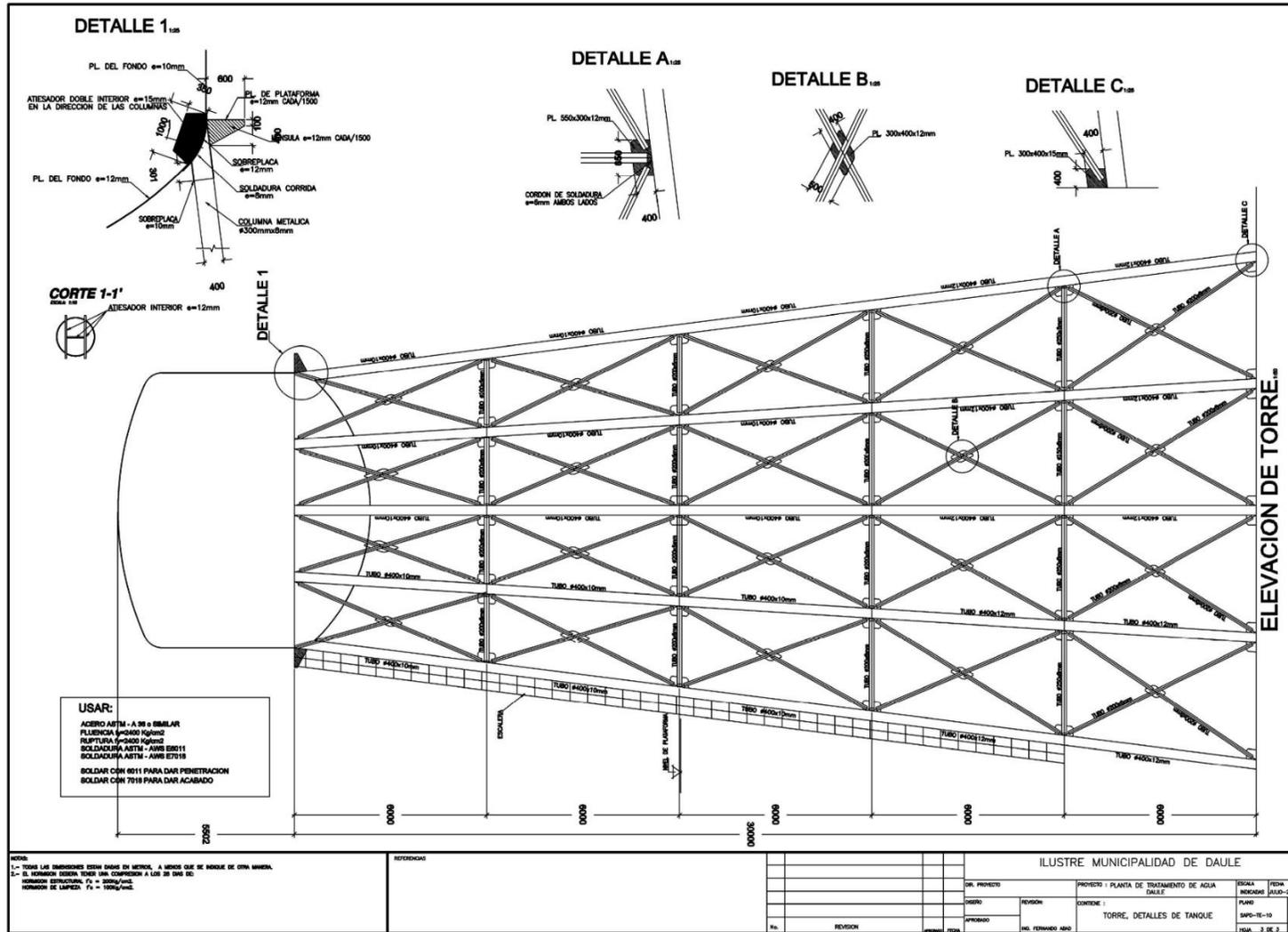
Plano 1 Sistema de derivación bypass



Accesorios	
Número	Descripción
1	Válvula de compuerta bridada clase 125
2	Válvula de compuerta bridada clase 125
3	Válvula de compuerta bridada clase 125
4	Unión en T
5	Codo de 90° radio largo
6	Codo de 45°
7	Unión en Y

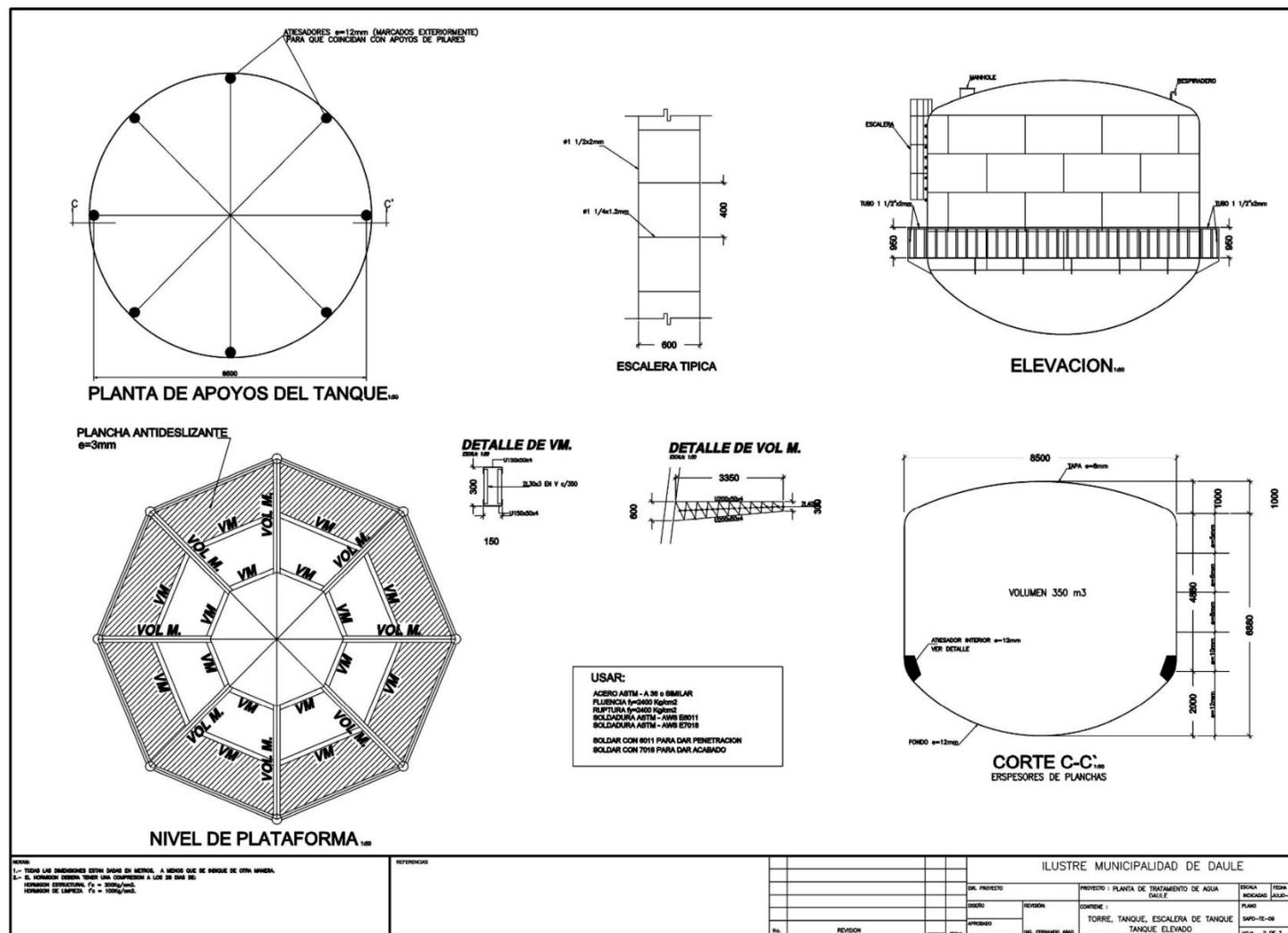
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	Tutor:	J. Peña
	Dibujante:	R.Feruzola, A.Torres
	Fecha:	
	Hoja:	1
Escala: 1:10	MATERIA INTEGRADORA DISEÑO DE BYPASS	

Plano 2 Estructura del tanque elevado de agua potable



(Fuente: Empresa de Agua Potable de Daule)

Plano 3 Detalles del tanque elevado de agua potable



(Fuente: Empresa de Agua Potable de Daule)

Apéndice D

Cronograma de ejecución del proyecto

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN																														
Actividad \ Tiempo	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30
Estudio previo y planificación del proyecto	■	■	■	■	■	■	■																							
Busqueda de proveedores y compra de materiales			■	■	■	■	■	■																						
Cotización por parte de proveedores			■	■	■	■	■	■																						
Limpieza externa del tanque y proceso de granallado								■	■	■	■																			
Aplicación de primera capa de pintura externa											■	■	■	■																
Aplicación de segunda capa de pintura externa												■	■	■	■															
Instalación del sistema bypass (Tuberías, codos y válvulas)											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Instalación del sistema de bombeo adicional											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Prueba y ejecución																					■									
Limpieza interna del tanque y proceso de granallado																						■	■	■	■					
Aplicación de pintura interna																										■	■	■	■	
Instalación del sistema de protección catódica																												■	■	■