

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

TEMA:

**Evaluación Hidráulica Y Optimización Del Funcionamiento De
Las Estaciones De Bombeo Del Subsistema De Agua Potable
Chobo - Recreo Del Cantón Duran.**

AUTOR:

López Mena, Kevin Andrés

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Camacho Monar, Mélida Alexandra, M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

22 de septiembre del 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **López Mena, Kevin Andrés**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____

Ing. Camacho Monar, Mélida Alexandra, M.Sc.

DECANO

f. _____

Ing. Federico Von Buchwald, PhD.

Guayaquil, a los 22 del mes de septiembre del año 2022



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **López Mena, Kevin Andrés**

DECLARO QUE

El Trabajo de Titulación, **Evaluación hidráulica y optimización del funcionamiento de las estaciones de bombeo del subsistema de agua potable Chobo - Recreo del Cantón Duran** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 22 del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR

f. _____
López Mena, Kevin Andrés



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **López Mena, Kevin Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Evaluación hidráulica y optimización del funcionamiento de las estaciones de bombeo del subsistema de agua potable Chobo - Recreo del Cantón Duran**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 22 del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR:

f. _____

López Mena, Kevin Andrés



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
REPORTE URKUND



Document Information

Analyzed document	Lopez_Kevin_FINAL.docx (D144155002)
Submitted	2022-09-15 18:06:00
Submitted by	
Submitter email	clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

Sources included in the report

W

URL: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/47948/Estado%20del%20arte%20de%20la%20calibraci%C3%83%C2%B3n%20de%20modelos%20hidr%C3%83%C2%A1ulicos.%20sequence=1&isAllowed=yiNEN>
Fetched: 2022-09-15 18:06:00

SA

20190211 Verónica Mejía_Antonio Prieto.pdf
Document 20190211 Verónica Mejía_Antonio Prieto.pdf (D47832085)

SA

Karen_Fiallos(6914)-TrabajoTitulación.docx
Document Karen_Fiallos(6914)-TrabajoTitulación.docx (D50332073)

SA

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / Trabajo de titulación Rivera Gómez Carlos Vinicio.doc
Document Trabajo de titulación Rivera Gómez Carlos Vinicio.doc (D128605166)
Submitted by: claglas@hotmail.com
Receiver: clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

SA

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / TRABAJO DE TITULO GABRIEL FUENTES.pdf
Document TRABAJO DE TITULO GABRIEL FUENTES.pdf (D41023220)
Submitted by: claglas@hotmail.com
Receiver: clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

SA

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / TRABAJO DE TITULO DE CHRISTIAN AREVALO.docx
Document TRABAJO DE TITULO DE CHRISTIAN AREVALO.docx (D35882169)
Submitted by: claglas@hotmail.com
Receiver: clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

SA

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / CHALÁN JAIME, SECTOR (NRO-507).docx
Document CHALÁN JAIME, SECTOR (NRO-507).docx (D48370186)
Submitted by: claglas@hotmail.com
Receiver: clara.glas.ucsg@analysis.orkund.com

AGRADECIMIENTO

Agradezco, a Dios por ser quien me brindo la fortaleza de seguir luchando por esta meta que en su momento parecía inalcanzable.

A mi mamita Freya por ser el ángel que Dios envió para resguardarme en todo tiempo de angustia y levantarme varias mañanas para que no falte a clases mientras me daba lo poco que tenía para el pasaje.

A mi mami Nancy quien con su esfuerzo pudo sacarme adelante sola, demostrándome que es una guerrera y que a pesar de las adversidades que pasamos en el transcurso de nuestras vidas supimos salir adelante.

A mi Tía Bachita quien con sus consejos puso orden en mi cabeza y corazón dándome a conocer que lo más hermoso que tengo es el amor de mi familia y sobre todo el apoyo incondicional y desinteresado que me brinda hasta el día de hoy.

A mi Tío Tito por ser como mi padre y estar conmigo incluso cuando no pedía ayuda, tenía las palabras correctas en el momento indicado.

A la familia Baque quienes aportaron en el desarrollo de toda mi carrera profesional siendo testigos de varias noches sin dormir y llanto por tratar de llegar a donde estoy ahora.

A mi familia quienes fueron mi pilar en todo este viaje y aconsejarme al darse cuenta de la lucha interna que tenía cada vez que quería rendirme.

A mis amigos que estuvieron dándome esas palabras de aliento mientras el camino se ponía cada vez más pesado, pero como me dijeron “Siéntete orgulloso pronto seremos colegas.”

López Mena, Kevin Andrés

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Mamita Freya, por ser quien estuvo para mi cada día de mi vida siendo la voz de mi alma, mente y corazón quien con mucho amor me decía tantas veces las ganas de verme formado como un profesional y sobre todo no permitirme rendirme, porque aun sabiendo que no contaba con sustento económico ella me daba todo lo que tenía para que no deje de estudiar.

A mi princesita Ayleen mi hermosa hija quien es el motor de mi vida, quiero que sepas que soy el ejemplo de que los sueños se cumplen, que rendirse no es una opción, que con amor y perseverancia todo se puede lograr y que nunca dejes de luchar por lo que quieres.

López Mena, Kevin Andrés



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

f. _____

Ing. Mélida Alexandra Camacho Monar
TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Federico Von Buchwald, PhD.
DECANO

f. _____

Ing. Clara Catalina Glas Cevallos, M.Sc.
DOCENTE

f. _____

Ing. Stephenson Xavier Molina Arce, M.Sc.
OPONENTE

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	X
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	3
4. CAPÍTULO 1	5
4.1 MARCO TEÓRICO	5
4.2 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	5
4.2.1 Componentes de una red	5
4.3 MODELOS HIDRÁULICOS	7
4.4 DEMANDAS DEPENDIENTES DE LA PRESIÓN: FUGAS	8
4.4.1 Hidráulica De Fugas.....	8
4.5 CALIBRACIÓN DE MODELOS HIDRÁULICOS	9
4.5.1 Procedimiento General Para La Calibración De Modelos Hidráulicos.....	9
4.5.2 Calibración del modelo	9
4.6 GESTIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA	10
4.6.1 Introducción A Las Pérdidas De Agua En Redes De Abastecimiento.....	12
4.6.2 Pérdidas Reales	14
4.6.3 Tubos y uniones defectuosos	15
4.6.4 Diseño e instalación / calidad de la mano de obra.....	16
4.6.5 Presión.....	18
4.6.6 Suelo y agua subterránea.....	19
4.7 MARCO CONCEPTUAL.....	20
4.7.1 Marco Legal.....	20
4.7.2 Constitución de la Republica del Ecuador 2008	20
4.7.3 Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua	20
4.8 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN	21

5. CAPITULO 2	22
5.1 METODOLOGIA	22
5.2 MODELO HIDRÁULICO EN EPANET	22
5.3 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO	23
5.3.1 Calibración del emisor global de fugas	23
5.3.2 Calibración de las pérdidas de carga de la red	24
5.3.3 Resumen del procedimiento de calibración	26
6. CAPITULO 3	28
6.1 CASO DE ESTUDIO	28
6.2 INFORMACIÓN TÉCNICA DEL SECTOR	28
6.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO HIDRÁULICO	32
6.4 DATOS DE CALIBRACIÓN	37
6.5 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN	40
6.5.1 Calibración del emisor global de fugas	40
6.5.2 Calibración de las pérdidas de carga	41
6.5.3 Resultados de la calibración	42
7. SOLUCIONES PARA EL SUBSISTEMA DE AGUA POTABLE CHOBO – RECREO	43
7.1 Alternativa 1: Disminuir el coeficiente de fugas un 80%	43
7.1.1 Análisis presupuestario referencial para Alternativa 1	45
7.2 Alternativa 2: Cambiar tramos de tubería con mayor pérdida de carga	46
7.2.1 Análisis presupuestario referencial para Alternativa 2	48
7.3 Alternativa 3: Cambiar bomba 9.	49
7.3.1 Análisis presupuestario referencial para Alternativa 3	51
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
9. REFERENCIAS	55

10. ANEXOS	56
Anexo 1. Modelo hidráulico en EPANET (diámetro de tuberías).....	56
Anexo 2. Modelo hidráulico en EPANET (longitud de tuberías).	57
Anexo 3. Resultados de presiones en la línea de conducción, calibración por caudal de fugas.....	58
Anexo 4. Resultados de caudales en la línea de conducción, calibración por caudal de fugas.....	59
Anexo 5. Resultados de presiones en la línea de conducción, calibración por caudal de fugas y pérdidas de carga.	60
Anexo 6. Resultados de caudales en la línea de conducción, calibración por caudal de fugas y pérdidas de carga.	61
Anexo 7. Resultados de presiones en la línea de conducción, modelación alternativa 1.....	62
Anexo 8. Resultados de caudales en la línea de conducción, modelación alternativa 1.....	63
Anexo 9. Resultados de presiones en la línea de conducción, alternativa 2.	64
Anexo 10. Resultados de caudales en la línea de conducción, alternativa 2.	65
Anexo 11. Resultados de presiones en la línea de conducción, alternativa 3.....	66
Anexo 12. Resultados de caudales en la línea de conducción, alternativa 3.	67
Anexo 13. Cotización de BOMBA CAPRARI 170M3-HR@90M 80 HP INOX 316SS.	68
Anexo 14. Ficha de Datos Técnicos de BOMBA CAPRARI 170M3-HR@90M 80 HP INOX 316SS.....	69

RESUMEN

En el presente trabajo se tratará de la evaluación hidráulica y optimización del funcionamiento de las estaciones de bombeo ya que en la actualidad una de las preocupaciones de las poblaciones es el abastecimiento de agua seguro, y a su vez que sea eficiente. Nos encontramos con la problemática del funcionamiento de las estaciones de bombeo que se encuentran en la Parroquia Chobo y uno de sus lugares de distribución es la zona de El Recreo del Cantón Duran, donde se detectó que el abastecimiento para estas zonas es ineficiente, lo que ocasiona también el deterioro de la calidad de la misma, esto causa en los usuarios un gran desconcierto ya que deben recurrir a otro tipo de abastecimiento de agua potable en este caso los tanques de agua potable y por ello se genera mala calidad de vida. Es importante solucionar esta problemática social que se ha generado y oportuno realizar el estudio de mi trabajo para fin de grado en el mejoramiento del modelo hidráulico existente y detectar las anomalías que forman el mal funcionamiento para así evitar pérdidas de agua en la red de abastecimiento.

En este proyecto se presentarán soluciones pertinentes para el mejoramiento del abastecimiento, aportando nuevas ideas con técnicas y metodologías ya existentes en la actualidad realizando un mejoramiento en la calibración del modelo hidráulico y modelado de fugas. Además, se usará la herramienta de Epanet que nos ayudará a comprender las relaciones entre presión, caudales y fugas.

Palabras claves: Modelos hidráulicos, estaciones de bombeo, optimización, Chobo, evaluación hidráulica, Epanet

ABSTRACT

At present, one of the greatest concerns of the population in general is the supply of safe and efficient water. We found the main problem of the operation of the pumping stations that are in the Chobo Parish and one of its distribution sites is the area of El Recreo del Canton Duran, where it could be detected that the supply for these areas is inefficient compared to the regulations of drinking water, which also causes the deterioration of the quality of it, this causes users a great confusion because they must resort to another type of drinking water supply in this case the drinking water tanks and thus generates poor quality of life. It is for this reason that it is important to solve this social problem that has been generated and opportune to carry out the study of my work for the end of degree in the improvement of the existing hydraulic model and detect the anomalies that form the malfunction in order to avoid water losses in the supply network.

This project will present relevant solutions for the improvement of the supply, providing new ideas with existing techniques and methodologies, improving the calibration of the hydraulic model and leakage modeling. In addition, the Epanet tool will be used to help us understand the relationships between pressure, flow rates and leakage.

Keywords: Hydraulic models, pumping stations, optimization, Chobo, hydraulic evaluation, Epanet

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de agua potable de Durán presenta una creciente demanda urbana en el sector El Recreo, se conoce que el servicio es discontinuo y que solo en el caso de esta ciudadela, compuesta por 5 etapas y con una extensión aproximada de 219 ha, se dispone de este servicio con normalidad, pero a pesar de esto las presiones de servicio registradas pueden llegar a ser menores de 5 mca en las horas de mayor consumo.

Es innegable, dentro de una población el nivel de vida esta concatenado una gran parte con el agua, dentro de las condiciones de suministro importante es la calidad y la presión con la que se la administra.

Uno de los factores que puede incidir en las variaciones y el consumo de agua potable es el crecimiento poblacional y el desarrollo de la industria dentro del sector en la que por consiguiente influye en el mejoramiento del abastecimiento de una población. Los resultados de estas variaciones deben de tomarse en consideración el mejoramiento necesario para que la demanda quede satisfecha. La responsabilidad del abastecimiento es cumplir en cada punto del sistema la correcta presión y calidad, esto nos obliga a realizar una evaluación de las posibles eventualidades que se podrían ocurrir.

En los últimos tiempos dentro de la ingeniería se ha visto la incorporación de algunos software informáticos, creados para tener mayor facilidad en el diseño, detectar incongruencias y realizar los respectivos cálculos de un sistema físico, ya que en épocas pasadas se realizaban las redes de distribución con complicados y pesados cálculos, con este objetivo y poder solucionar todos estos problemas se desarrolló el software conocido en la actualidad: EPANET, este programa nos permite calcular complejas redes de abastecimiento, desde un punto de vista hidráulico y de calidad.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Realizar la evaluación hidráulica y optimización del funcionamiento de las estaciones de bombeo del sistema de agua potable Chobo - Recreo del Cantón Durán.

2.2 Objetivos específicos

- Aplicar un modelo hidráulico en las redes de abastecimiento de agua potable en Chobo - Recreo.
- Valorar las pérdidas de la red manejando las buenas prácticas sugeridas para las normas técnicas.
- Calibrar el modelo hidráulico considerando la medición del caudal tomado a la salida de la estación de bombeo en Chobo de los pozos 9 y 10.
- Establecer mejoras al subsistema Chobo – Recreo.

3. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

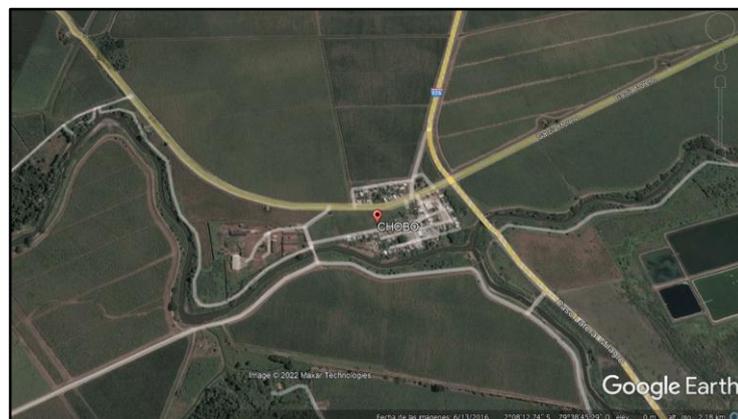


Ilustración 1: Chobo, Guayas
Fuente: (EARTH, 2022)

La Parroquia Rural Chobo está ubicada en la cuenca intermedia de la Provincia del Guayas, y sus limitantes son, al Norte con el cantón San Jacinto de Yaguachi, al Oeste con el cantón Milagro y al Sur con Yaguachi Viejo Cone. (Tecnoserviweb, 2022)

Los españoles le dieron el nombre de Santa Rosa de Chobo y ya en época de la República fue hecha parroquia por acuerdo del Ilustre Concejo de Yaguachi expedido el 31 de agosto de 1892, durante el gobierno del Dr. Antonio Flores Jijón. (Pino, 2022)

Al crearse el cantón Milagro -el 20 de septiembre de 1913- pasó a integrar esa nueva jurisdicción, se compone de nueve centros poblados que se conecta a través de caminos vecinales. Los centros poblados con mayor población son: El Paraíso, Cabecera Parroquial y el Recinto Rancho del Sol. (Pino, 2022)

4. CAPÍTULO 1

4.1 MARCO TEÓRICO

4.2 REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Una red de distribución de agua potable está constituida por tubos, accesorios y estructuras que transportan agua desde tanques de servicio hasta los hidrantes públicos. Su objetivo es poder abastecer de agua al usuario que se desee beneficiar para consumo doméstico, público, comercial, industrial y se le da otros usos en condiciones inusuales como extinguir incendios. (Naturales, 2018)

Las redes de distribución de agua deben facilitar este servicio en todo momento, en cantidad suficiente, con la calidad requerida y con una presión adecuada.

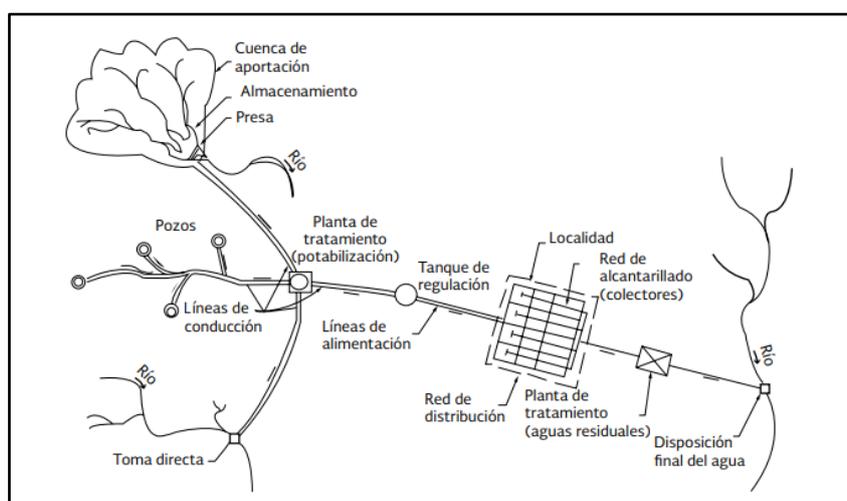


Ilustración 2: Configuración de un sistema de abastecimiento de agua en localidades urbanas.

Fuente: (Naturales, 2018)

4.2.1 Componentes de una red

Elementos que integran una red Toda red de distribución de agua está formada por los siguientes elementos:

- Tuberías: Se le denomina así al conjunto de transporte de fluidos por excelencia. Las tuberías vienen definidas por su diámetro, material de constitución y tipo de junta. El diámetro viene definido del cálculo hidráulico de

la red y tanto el material como los tipos de juntas se recogen en otra exposición de este curso. (Moliá, 2019)

- Depósitos: Los depósitos que pertenecen a una red de distribución tienen las funciones de almacenamiento y de regulación de caudales y presiones. La mayoría de los tratados recomiendan que el volumen de los depósitos sea igual al consumo del día punta (24 horas). Sin embargo, dependiendo de las características de los suministros esta hipótesis puede ser resultar innecesaria o escasa. (Moliá, 2019)

- Otros elementos singulares. A continuación, se hace una sucinta enumeración del resto de elementos singulares que se ubican en una red de distribución: (Moliá, 2019)
 - Enlaces entre alineaciones (codos, te, reducción, etc.).
 - Válvulas de corte.
 - Ventosas y purgadores.
 - Desagües y purgas manuales.
 - Válvulas de retención.
 - Válvulas reguladoras de presión y caudal.
 - Válvulas de sobre velocidad o sobrepresión.
 - Hidrantes.
 - Dispositivos de riego y baldeo.
 - Fuentes públicas.
 - Cámaras de descarga.
 - Estaciones de toma de muestras.
 - Estaciones de adición de aditivos.
 - Entradas de hombre y registros.
 - Caudalímetros y contadores.

4.3 MODELOS HIDRÁULICOS

Un modelo hidráulico está constituido por la edificación digital (virtual) de una red de distribución de agua, que le permite reproducir y prever el comportamiento de esta, para poder realizar pruebas y definir soluciones. (MODELACIÓN HIDRAULICA, 2018)

El modelo hidráulico es importante ya que, una vez realizado un modelo, la empresa de agua que va a realizar el trabajo tendrá una herramienta con muchas ventajas y el manejo de redes con grandes instrucciones de mecánica de fluidos: (MODELACIÓN HIDRAULICA, 2018)

- Podrá tomar decisiones más acertadas con respecto a operaciones, mantenimiento, ampliación sin que exista grandes riesgos ya que se ha realizado el modelo hidráulico y tendrá mayor éxito.
- Tendrá mejor seguridad con respecto a las redes que se van a ejecutar, y así evitar realizar instalaciones y desinstalaciones innecesarias un caso podría ser, determinar donde se va a realizar la instalación de los depósitos, válvulas y bombas.
- Es una herramienta que ayuda a aclarar dudas para los inversionistas o tener claro si existe el riesgo de realizar cambios en la red, y así se puede evitar conflictos con la comunidad donde se va a ejecutar la obra y con las autoridades encargadas de la zona, también permite el análisis de la red mediante una simulación estática o extendida (patrones de demanda: agrícola, industrial, comercial y residencia).
- Posibilita el análisis de Calidad del Agua (Tiempo de permanencia, concentración de cloro, calcio, magnesio y otras sustancias en la red).
- Permite el análisis de Protección contra Incendios (Disponibilidad de agua para bomberos).
- Asegurar la provisión de la población (presiones) en caso de ampliaciones.

Dependiendo del software aplicado, existen las siguientes aplicaciones para una simulación hidráulica u costos de energía e inversión. (MODELACIÓN HIDRAULICA, 2018)

- Creación y aplicación de esquemas operativos.
- Análisis de uso del agua u Control en Tiempo Real.
- Sectorización y Detección de Fugas (Agua No Contabilizada).
- Análisis de Vulnerabilidad u Diseño de estanques, tuberías, represas etc.
- Compatibilidad con otro software, por ejemplo, GIS, Google Earth etc.

4.4 DEMANDAS DEPENDIENTES DE LA PRESIÓN: FUGAS

La asignación de las demandas dependientes de la presión en los nudos del modelo hidráulico consiste en la declaración de los valores correspondientes a los parámetros físicos que determinan el comportamiento de las fugas en la red de distribución; por lo que resulta necesario primero entender la hidráulica asociada a éstas, antes de revisar los distintos enfoques para la modelación de fugas existentes en la literatura disponible (Galán, 2016)

4.4.1 Hidráulica De Fugas

Si las pérdidas de carga en el terreno alrededor de una tubería son ignoradas, una fuga en dicha tubería será hidráulicamente equivalente a un orificio de salida en un tanque, por lo que su comportamiento estará basado en la ecuación de Torricelli. Esta ecuación que se presenta describe la relación entre el caudal de fuga y la presión en el punto de salida del tanque, y considera el concepto de coeficiente de descarga C_d para representar la reducción del área efectiva del orificio debido a la contracción del chorro del fluido aguas abajo del orificio y las pérdidas de energía por fricción.

$$Q = C_d A (2gH)^{0.5}$$

donde Q es el caudal de fuga a través del orificio, C_d es el coeficiente de descarga del orificio, A es la sección transversal del orificio, g la aceleración debida a la gravedad, y H la pérdida de carga entre los puntos ubicados aguas arriba y aguas abajo del punto de descarga. Esta ecuación asume que tanto el valor del coeficiente de descarga como la sección transversal se mantienen constantes.

4.5 CALIBRACIÓN DE MODELOS HIDRÁULICOS

El uso de los modelos hidráulicos tiene por finalidad realizar una simulación de los fenómenos que se pueden presentar en la realidad. Sin embargo, a pesar de los recientes avances en la ciencia y tecnología, no existe un modelo hidrológico que simule a la perfección los procesos complejos que involucra la hidrología debido a la presencia de errores de diferente origen. Estos errores por lo general son minimizados mediante un adecuado proceso de calibración. (Cabrera, s.f.)

4.5.1 Procedimiento General Para La Calibración De Modelos Hidráulicos

El modelamiento determinístico no considera términos aleatorios dentro del modelo; es decir, cada simulación que se realice producirá el mismo resultado. Bajo esta idea general, el proceso de calibración se centrará en minimizar las diferencias entre los datos observados y los datos simulados. Este “criterio de exactitud” se basa en el ajuste de parámetros como medio de calibración. (Cabrera, s.f.)

El uso que se realiza en modelos determinísticos requiere el manejo de términos como: variables de ingreso, parámetros y variables de estado. (Cabrera, s.f.)

4.5.2 Calibración del modelo

La calibración es el proceso por el cual se identifican los valores de los parámetros del modelo para los cuales la serie de datos simulado se ajusta de manera óptima a la serie de datos observados. Para evaluar la bondad de ajuste del modelo se utiliza una “función objetivo”. Este proceso puede realizarse de dos formas: (Galán, 2016)

- **Prueba y error**

Es el método más utilizado y usualmente recomendado. Implica un ajuste manual de parámetros basado en el criterio del investigador. Tiene valor de aprendizaje, pero es lento y subjetivo.

- **Automática**

Optimiza los valores de los parámetros utilizando técnicas numéricas. A diferencia de la “prueba y error”, este método es mucho más rápido y objetivo; sin embargo, es numéricamente complejo y presenta problemas en la compensación de errores y en la captura de valores mínimos locales. Algunos ejemplos son: técnicas de escalamiento (hill-climbing techniques), recocido simulado (simulated annealing), algoritmos genéticos, etc.

En la práctica, se sugiere aplicar el primer método para conseguir una primera aproximación y luego optimizarla utilizando una calibración automática.

4.6 GESTIÓN DE PÉRDIDAS DE AGUA

El objetivo es cuantificar la cantidad de agua perdida en el sistema de distribución, sin considerar donde pueden estar estas. Esta estimación puede ser realizada por medio de tres diferentes métodos, o una combinación de estos: el balance hídrico, el método de caudales nocturnos y por último el análisis de componentes de fugas. El balance hídrico, también llamado método TOP-DOWN, anteriormente ya se habló de este método, estima la cantidad anual de pérdidas totales a partir de los registros de caudales inyectados en la red de distribución y el volumen correspondiente a los distintos tipos de consumos; siendo posible también estimar el volumen de pérdidas reales si existe información suficiente para obtener una estimación adecuada de las pérdidas aparentes. (Galán, 2016)

El método de caudales nocturnos, también denominado método BOTTON-UP, está apoyado en el análisis de los caudales nocturnos inyectados en sectores o zonas de dimensión pequeña (Distritos de Medición), formados usualmente por 500 y 3000 conexiones domiciliarias. En muchos casos, el caudal mínimo nocturno en zonas residenciales se da lugar entre las 02h00 y 04h00. Durante el período del caudal mínimo nocturno (CMN) el caudal consumido por los abonados es mínimo, por ese motivo las pérdidas reales (fugas) constituyen el mayor componente del caudal inyectado a la red. Más adelante. La estimación de las pérdidas reales se realiza restando el valor estimado del caudal de consumo nocturno del caudal mínimo nocturno inyectado al sistema de distribución en estudio. Con el fin de convertir esta

estimación en un volumen diario de pérdidas reales, es necesario extrapolarla para el resto del día usando la relación entre caudal de fuga y la variación de la presión a lo largo del día. Este método se puede utilizar para validar el volumen de pérdidas reales obtenido mediante el enfoque TOP-DOWN. La sencillez de la información requerida para la aplicación del método hace que sea conveniente cuando no se tiene disponible un modelo hidráulico de la red de distribución. Sin embargo, el nivel de confianza de los resultados conseguidos dependerá de la precisión de las medidas de presión y caudal, del método usado para estimar el uso nocturno; y principalmente de la capacidad del nudo en el cual se registra presión, para representar la presión de servicio existente en toda la red de distribución evaluada. En la figura se muestra una fuga en tubería subterránea que puede servir de ejemplo del tipo de fuga que puede ser detectada por los métodos mencionados. (Galán, 2016)



Ilustración: Fuga en tubería subterránea.
Fuente: (HIDROTEC, s.f.)

El análisis de componentes se apoya en el concepto BABE (Burts and Background Estimates) propuesto por el Water Institute Research en el reporte E de la serie Managing Leakage. Con este método analítico se puede estimar el volumen anual de pérdidas reales a partir de la estimación del caudal de fuga correspondiente a cada uno de los elementos de la red basado en los parámetros más significativos relacionados con las fugas. Este enfoque utiliza el número de fugas, caudales y tiempo de duración promedio para los tres tipos de fugas (fugas de fondo, no reportadas, y reportadas) para diferentes elementos de la red de distribución, como tuberías de conducción y distribución, acometidas y conexiones de servicio. Otros datos requeridos incluyen información básica de la red (longitud total de tuberías, número de acometidas existentes y longitud promedio de acometidas), presión de

servicio promedio en la red de distribución, y la relación presión-caudal de fuga obtenida con el valor apropiado del exponente de fugas. (Galán, 2016)

4.6.1 Introducción A Las Pérdidas De Agua En Redes De Abastecimiento

La gran cantidad de agua perdida por fugas en las redes de distribución urbana de agua (pérdidas físicas o reales de agua) y las cantidades de agua distribuidas sin facturación (pérdidas de agua aparentes) pueden ser elementos que complican el panorama de suministro de agua, con especial atención en los países en desarrollo y en transición. Las pérdidas de agua reales y aparentes, junto con el consumo autorizado no facturado, conforman la cantidad de agua no facturada (ANF) en las redes de suministro de agua. En la figura a continuación se muestra un esquema del problema existente en las redes de distribución. (Galán, 2016)

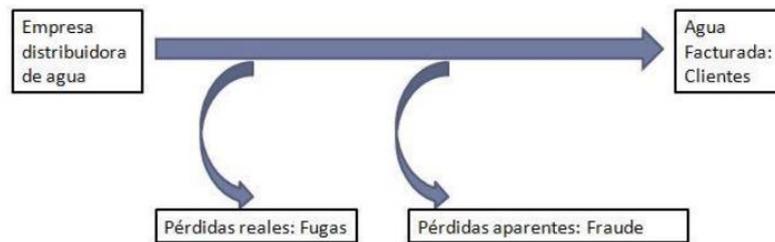


Ilustración 3: Esquema de las pérdidas en la red de abastecimiento.
Fuente: (Galán, 2016)

A las empresas de agua les interesa reducir estas pérdidas ya que reducen la cantidad de agua facturada y esto se traduce en pérdidas económicas. Aunque más adelante se verá los métodos para la estimación de pérdidas, se va a introducir el del balance hídrico para ver la terminología estándar de los componentes que conforman el esquema de la figura presentada ya que define de forma clara los componentes de dicho esquema. (Galán, 2016)

Volumen de entrada al sistema Q	Consumo autorizado Q_A	Consumo autorizado facturado Q_{AF}	Agua facturada exportada	Agua facturada		
			Consumo facturado medido			
			Consumo facturado no medido			
	Pérdidas de agua Q_{PA}	Consumo autorizado no facturado Q_{ANF}	Consumo autorizado no facturado Q_{ANF}	Consumo no facturado medido	Agua no facturada	
				Consumo no facturado no medido		
		Pérdidas aparentes Q_{PA}	Pérdidas aparentes Q_{PA}	Pérdidas aparentes Q_{PA}		Consumo no autorizado
						Inexactitudes de los medidores y errores de manejo de datos
						Fugas en las tuberías de aducción y distribución
						Fugas y reboses en tanques de almacenamiento
Pérdidas reales Q_{PR}	Pérdidas reales Q_{PR}	Pérdidas reales Q_{PR}	Fugas en conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente			

Tabla 1: Terminología estándar para el balance hídrico de acuerdo con la IWA.
Fuente: (Galán, 2016)

Los elementos del balance hídrico se definen de la manera siguiente (Galán, 2016):

- Volumen de ingreso al sistema: el ingreso de agua al sistema medido. En sistemas con exportaciones sustanciales de agua es importante determinar el volumen de agua que se suministra (volumen de ingreso al sistema menos agua exportada facturada).
- Consumo autorizado: el volumen de agua medida y no medida tomada por los clientes registrados, otras partes autorizadas y la empresa de agua. Incluye el consumo autorizado facturado (como el consumo medido facturado, el consumo no medido facturado y el agua exportada, el consumo autorizado no facturado y el consumo medido no facturado y consumo no medido no facturado). Esta parte del balance hídrico también comprende fugas y reboses del punto de medición del cliente, así como las propias necesidades de la empresa de agua como por ejemplo para lavar tuberías o lavar los filtros.
- Agua facturada (correspondiente al consumo autorizado facturado): el volumen de agua que se entrega y se factura al cliente exitosamente, el cual genera entonces ingresos para la empresa de agua.

- Agua no facturada (ANF): el volumen que permanece no facturado y por lo tanto no genera ningún ingreso para la empresa de agua. Se puede expresar como la diferencia de volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado facturado o como la suma de consumo autorizado no facturado y las pérdidas de agua.
- Pérdidas de agua: es el volumen de agua perdida entre el punto de suministro y el medidor del cliente debido a varias razones. Se puede expresar como la diferencia entre el volumen de ingreso al sistema y el consumo autorizado y este compuesto de pérdidas aparentes y reales. Las pérdidas aparentes se pueden subdividir en consumo no autorizado, inexactitudes de medición y errores de manejo de datos. Las pérdidas reales se constituyen de fugas desde tuberías de transmisión y distribución, fugas desde conexiones de servicio y fugas desde tanques de almacenamiento.

4.6.2 Pérdidas Reales

Las pérdidas reales son volúmenes de agua perdidos dentro de un determinado periodo a través de todo tipo de fugas, estallidos y reboses. Las pérdidas reales se pueden clasificar de acuerdo a (a) su ubicación dentro del sistema y (b) su tamaño y al tiempo durante el cual fugan. (Galán, 2016)

(a) Ubicación

Fuga desde las troncales de transmisión y distribución, puede ocurrir en tuberías (estallidos debido a causas foráneas o a corrosión), uniones (desconexión, empaquetaduras dañadas) y válvulas (falla operativa o de mantenimiento) y usualmente tiene tasas de flujo de medianas a altas y tiempos de fuga de cortos a medianos.

Fuga desde conexiones de servicio hasta el punto del medidor del cliente. Son puntos débiles de las redes de suministro de agua porque sus uniones y accesorios exhiben tasas de falla altas. Las fugas en las conexiones de servicio son difíciles de detectar debido a sus tasas de flujo comparativamente bajas y por lo tanto tienen tiempos de fuga largos.

Fuga y reboses de tanques de almacenamiento. Estas están causadas por controles del nivel que son deficientes o están dañados. A menudo se subestiman las pérdidas de agua desde tanques y aunque son fáciles de detectar, la reparación a menudo es complicada y cara.

(b) Tamaño y tiempo de la fuga

Las fugas reportadas o visibles provienen principalmente de estallidos súbitos o rupturas de uniones en grandes troncales o tuberías de distribución. El agua que fuga aparecerá en la superficie rápidamente dependiendo de la presión del agua y el tamaño de la fuga, así como de las características del suelo y la superficie. No se requiere equipo especial para ubicar las fugas.

Fugas no reportadas u ocultas. Estas por definición tienen caudales mayores a 250 l/h a 50 m de presión, pero debido a las condiciones no favorables no aparecen en la superficie. Existe una amplia gama de instrumentos acústicos y no acústicos para detectar las fugas no reportadas.

Fugas de fondo. Comprende pérdidas de agua con caudales menores a 250 l/h a 50 m de presión. Estas fugas muy pequeñas (filtración o goteo de uniones, válvulas o accesorios no herméticos) no se pueden detectar utilizando métodos de detección acústicos de fugas. Por lo tanto, se asume que muchas fugas de fondo nunca se detectan ni reparan, sino que fugan hasta que se reemplaza eventualmente la parte defectuosa. Las fugas de fondo a menudo causan una buena parte de las pérdidas reales de agua debido a su gran número y el largo tiempo durante el que ocurren. (Galán, 2016)

4.6.3 Tubos y uniones defectuosos

- **Material:** Aparte de las fallas del material causadas durante la fabricación (insuficiente espesor de pared, ausencia de protección contra la corrosión en los tubos de acero, mal revestimiento de refuerzo en los tubos), el daño también se causa debido al uso inapropiado de ciertos materiales: el agua blanda (especialmente agua no tratada de las represas) con mucho ácido carbónico (CO₂) y las bajas concentraciones de calcio o las altas

concentraciones de sulfatos afectan agresivamente al concreto. Los tubos de concreto armado, así como el revestimiento de mortero de cemento interno y externo en los tubos de fierro forjado quedan afectados. En la figura presentada a continuación se muestra un tubo de concreto. Se trata de tubos muy resistentes y robustos.



Ilustración 4: Tubo de concreto armado.
Fuente: (ECUACONDUCTOS, s.f.)

- **Condición:** Todos los tubos metálicos están expuestos a la corrosión física y electroquímica. La corrosión reducirá el espesor de la pared y reducirá la capacidad que tiene el tubo de soportar presión de agua y esfuerzo externo. Las causas más comunes de corrosión son el agua y la tierra agresivas, así como las corrientes desviadas.
- **Edad:** Muchos factores que influyen las fugas dependen de la edad. Consecuentemente, la edad de una sección de tubo puede aparecer como el factor más significativo para las fugas. No obstante, la edad no es necesariamente un factor si se ha diseñado e instalado cuidadosamente el tubo y si se realiza mantenimiento a intervalos regulares y las condiciones externas son favorables.

4.6.4 Diseño e instalación / calidad de la mano de obra

- **Diseño:** Los errores durante la fase de planeamiento pueden influenciar las fugas de los tubos como son los casos de mala elección de materiales, dimensionamiento insuficiente para la presión real, medidas de protección inadecuadas contra la corrosión o alineamiento incorrecto (por ejemplo, a lo

largo de laderas tendientes a los deslizamientos de tierra o adyacentes a raíces de árboles).

- **Almacenamiento y tendido de tuberías:** El almacenamiento inadecuado puede dañar las tuberías incluso antes de su instalación. Las raíces del pasto pueden penetrar el revestimiento bituminoso de los tubos de acero. El arrastrar tubos de PE sobre superficies de concreto o piedras causará biselados que son más susceptibles a las fugas futuras. La larga exposición a la luz del sol hace que los tubos de PE se vuelvan quebradizos. La maquinaria pesada que se utiliza para el transporte y la instalación también puede causar daños.

- **Lecho:** La selección de material inapropiado para tender la tubería en un lecho es una causa frecuente de daño: si el material del lecho es áspero o rocoso puede malograr los revestimientos externos de tubos de acero o fierro forjado y causar corrosión. Pueden aparecer rajaduras longitudinales y en espiral en tubos de PE y PVC como resultado de un material pedregoso en los lechos. Puede causarse hundimiento si no se rellena y compacta de manera suficiente la zanja para el tubo. Estos movimientos de suelo no controlados también pueden desencadenar desconexión de los encajes o rupturas de tubos.

- **Uniones:** Unir las tuberías deficientemente es una razón más para las fugas. Los tubos de acero soldados a menudo carecen de protección apropiada contra la corrosión interna y externa a lo largo de la costura de soldadura. Si los que ejecutan la técnica de soldadura de tubos PE, que es relativamente nueva, son soldadores no calificados o mal capacitados, habrá frecuentemente defectos debido al caldeamiento y la compresión insuficiente de los extremos del tubo. También pueden ocurrir fugas si los tubos del encaje exceden la curvatura angular máxima permitida o si el martillo de agua y las altas presiones afectan las uniones que no están cerradas. En la figura presentada a continuación se muestra un ejemplo de fuga por unión defectuosa.



Ilustración 5: Fuga en unión de tuberías.
Fuente: (MORKENGROUP, s.f.)

4.6.5 Presión

- **Presión alta:** La presión creciente resultará en un caudal de fuga más alta proveniente de las fugas existentes y de una ocurrencia aumentada de nuevos estallidos de tubos y fugas a medida que sube la presión, las tasas de fuga se elevan a un nivel mucho más grande que lo que habría predicho la relación teórica de raíz cuadrada entre las tasas de presión y de fuga. Las válvulas y accesorios viejos pueden carecer de un tamaño suficientemente robusto para las altas presiones.
- **Presión baja:** La presión baja puede complicar los esfuerzos de detección de fugas porque el agua tiene menos probabilidad de alcanzar la superficie. Además, los menores niveles de ruido provenientes de la fuga impiden que los métodos acústicos de ubicación de fugas funcionen y pueden causar tiempos de fuga más largos.
- **Variaciones de presión:** Las marcadas variaciones de presión dentro del sistema pueden llevar a la fatiga de materiales y así a la fuga, principalmente en tuberías de plástico.
- **Aumento repentino de la presión:** Los aumentos repentinos de la presión (martillo de agua)

4.6.6 Suelo y agua subterránea

- **Tipo de suelo:** El tipo de suelo prevaleciente tiene un efecto significativo en el tiempo durante el cual el agua fuga. Mientras que el agua que escapa en suelos cohesivos (por ejemplo, arcilla o limo) puede aparecer pronto en la superficie, las fugas en suelos no cohesivos (por ejemplo, arena o grava) tienden a drenar por debajo de la tierra, lo que hace las fugas sean más difíciles de detectar.
- **Agresividad del suelo:** La mayoría de suelos no cohesivos no son agresivos. Los suelos cohesivos pueden afectar negativamente la corrosión externa de los tubos metálicos debido a distintos niveles de sales disueltas, oxígeno, humedad, pH y actividad bacteriana.
- **Movimiento del suelo:** El movimiento del suelo es causado por cambios en la temperatura y contenido de humedad (los niveles cambiantes de agua subterránea hacen que los suelos cohesivos se contraigan y expandan), las fuertes heladas, así como el hundimiento causado por un lecho incorrecto para el tubo, las actividades mineras o terremotos, así como las obras de construcción incrementan las cargas de superficie y las obras de reparación de tubos también pueden desencadenar movimiento del suelo. El movimiento del suelo puede hacer que las uniones de tubos se desconecten y que los tubos se rompan.

4.7 MARCO CONCEPTUAL

4.7.1 Marco Legal

Para ejecutar el Marco legal de este proyecto de “Evaluación Hidráulica y Optimización del Funcionamiento de las Estaciones de Bombeo del Subsistema de Agua Potable Chobo - Recreo Del Cantón Duran” se tomaron como referencia las siguientes normativas, que corresponden a los siguientes ítems:

4.7.2 Constitución de la Republica del Ecuador 2008

En la constitución de la Republica del Ecuador fue aprobadas por la Asamblea Nacional Constituyente en el 2008, podemos aplicar los siguientes artículos:

El derecho del buen vivir en su sección segunda del ambiente sano, podemos usar como referencia el siguiente artículo:

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida. (Constitucion del Ecuador, 2022)

Sección sexta, se toma como referencia el siguiente articulo:

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico. (Constitucion del Ecuador, 2022)

4.7.3 Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua

La ley orgánica fue aprobada en el 2009, nos señala el siguiente artículo que podemos usar de referencia:

Derechos Humano al agua.

Art. 57.- Definición. El derecho humano al agua es el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura. Forma parte de este derecho el acceso al saneamiento ambiental que asegure la dignidad humana, la salud, evite la contaminación y garantice la calidad de las reservas de agua para consumo humano. El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. Ninguna persona puede ser privada y excluida o despojada de este derecho. El ejercicio del derecho humano al agua será sustentable, de manera que pueda ser ejercido por las futuras generaciones. La Autoridad Única del Agua definirá reservas de agua de calidad para el consumo humano de las presentes y futuras generaciones y será responsable de la ejecución de las políticas relacionadas con la efectividad del derecho humano al agua. (agua, 2022)

4.8 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Según el INEN la vida útil de las diferentes partes que constituyen a un sistema, se establece en la tabla mostrada a continuación. (INEN, 2022)

COMPONENTE	VIDA ÚTIL (AÑOS)
Diques grandes y túneles	50 a 100
Obras de captación	25 a 50
Pozos	10 a 25
Conducciones de hierro dúctil	40 a 50
Conducciones de asbesto cemento o PVC	20 a 30
Planta de tratamiento	30 a 40
Tanques de almacenamiento	30 a 40
Tuberías principales y secundarias de la red:	
De hierro dúctil	40 a 50
De asbesto cemento o PVC	20 a 25
Otros materiales	Variables de acuerdo especificaciones del fabricante

Ilustración 6: Tabla de vida útil sugerida para los elementos de un sistema de agua potable.

Fuente: (INEN, 2022)

5. CAPITULO 2

5.1 METODOLOGIA

5.2 MODELO HIDRÁULICO EN EPANET

El EPANET es un software de uso libre, que permite ejecutar simulaciones hidráulicas para redes de abastecimiento de agua potable para régimen permanente y en periodo extendido. La estructura principal de las redes se construye a partir de los siguientes datos:

- Tuberías: Los parámetros físicos requeridos por esta son diámetro, longitud, coeficiente de rugosidad que depende del material a utilizarse, y a su vez calcula las pérdidas de carga a través de diversos métodos como son: Hazen – Williams, Darcy Weisbach o Chezy – Manning.
- Nodos: Estos elementos son considerados como uniones de tuberías y permite la asignación de elevaciones y demandas.
- Bombas: Entre las funciones más importantes que el programa incluye esta la función de variar el régimen de bombeo
- Válvulas: Dentro del modelo hidráulico este accesorio puede ser considerado abierto, cerrado o dependiendo del grado de abertura, además permite utilizar diferentes tipos como: de retención, de corte y reguladoras de caudal y presión.
- Reservorios: Representados como fuente de abastecimiento de agua.

Entre las principales aplicaciones que se pueden mencionar son: calibraciones de modelos hidráulicos, análisis de cloro residual, o la evolución de los caudales suministrados a los clientes.

Para que el modelo hidráulico funcione correctamente se necesita la siguiente información como requisito fundamental:

- Determinación del caudal medio generado por cada usuario.
- Asignar la demanda de los caudales encontrados a un nodo en la simulación, que represente su ubicación más cercana a la realidad.

5.3 CALIBRACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO

5.3.1 Calibración del emisor global de fugas

La metodología para la calibración comprende en determinar un emisor global para toda la red de agua potable y distribuirlo como coeficiente de fuga, en los nudos del modelo.

Para la modelación de las fugas, se utilizará la misma ecuación definida en el programa EPANET representada como:

$$Q_{fuga} = KP^{N1}$$

Donde:

K es el coeficiente global de fuga (l/s/(mca^{N1}))

P es la presión promedio en los nudos de demanda (mca)

$N1$ es el exponente de fugas (adimensional)

Si el emisor de fugas es igual para todos los nudos del modelo, se puede repartir equitativamente el coeficiente K global entre los nudos de demanda (ND).

$$K_{emisor} = \frac{K_{global}}{ND}$$

Para realizar el balance de volúmenes de la red de distribución se utilizará la fórmula:

$$Q_{sim} = Q_c + Q_f$$

Donde:

Q_{sim} es caudal medio total simulado (l/s)

Q_c es el caudal consumido por los abonados (l/s)

Q_f es el caudal de fugas (l/s)

El caudal de fuga comprende el caudal de pérdidas aparentes y reales que se producen en la línea de impulsión, a su vez se puede determinar el porcentaje de agua no contabilizada mediante la fórmula:

$$\%ANC = \frac{Q_f}{Q_{sim}} \times 100$$

Se debe obtener el porcentaje de agua no contabilizada para calibrar el modelo hidráulico considerando que el caudal medio simulado sea igual al caudal promedio de la medición.

Este proceso debe repetirse hasta que la presión promedio en los nudos de demanda sea considerada constante para dos iteraciones sucesivas y el caudal medio de fugas simulado se aproxime al caudal medio de fugas.

5.3.2 Calibración de las pérdidas de carga de la red

En una red de distribución hay una pérdida de carga que representa la pérdida de energía del flujo hidráulico debido a la rugosidad de las tuberías y al

fenómeno de turbulencia provocada por accesorios o válvulas instalados en la red.

En el caso de una red donde no hay cambio de diámetro en las tuberías, ni elevaciones el tipo de energía que puede perderse por el movimiento del fluido es la energía de presión, que puede ser calculada mediante la siguiente ecuación de Darcy:

$$h_f = f \frac{8 L Q^2}{g \pi^2 D^5}$$

Donde:

h_f es la energía por unidad de peso perdida por fricción (m)

f es el factor de fricción (adimensional)

L es la longitud del tramo de la tubería (m)

D es el diámetro de la tubería (m)

Q es el caudal medio en el tramo de tubería analizado (m/s)

g es la aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

El factor de fricción es función del número de Reynolds y la rugosidad relativa, tal como se muestra en la siguiente fórmula de Colebrook - White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} \right) + \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \right]$$

Donde:

ε es la rugosidad (m)

D es el diámetro de la tubería (m)

Re es el número de Reynolds (adimensional)

El número de Reynolds se determina a partir de la ecuación:

$$Re = \frac{vD}{V}$$

Donde:

v es la velocidad media del flujo (m/s)

D es el diámetro de la tubería (m)

V es la viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

Mediante las fórmulas mencionada se puede determinar la rugosidad de las tuberías y determinar el comportamiento hidráulico debido a las pérdidas por fricción. Los resultados obtenidos de presión de la simulación pueden ser comparados con las mediciones de presión en la red. Se puede aceptar diferencias que tenga un orden de magnitud de ± 1.4 mca o ± 3.5 mca; según sea el caso en función del propósito del modelo hidráulico de acuerdo a los criterios de ECAC- AWWA (1999).

5.3.3 Resumen del procedimiento de calibración

Una vez revisados los procesos de la metodología propuesta se presenta un resumen del procedimiento recomendado para su aplicación.

1. Preparar los datos de calibración, asegurando la mayor precisión posible. Realizar la carga del modelo, asignando a cada nudo la demanda independiente de la presión, estimado a partir de la serie de datos del caudal inyectado.
2. Realizar una primera simulación del modelo. Obtener el valor de la presión promedio para toda la red y todos los instantes de simulación.

3. Calcular el coeficiente emisor global de fugas y distribuirlo equitativamente a cada nudo del modelo. Realizar una nueva simulación.
4. Comparar el caudal medio de fugas simulado con el caudal medio de fugas teórico.
5. Verificar el cumplimiento de los criterios de calibración para el coeficiente global de fugas. En caso de cumplimiento, ir al siguiente paso. En caso de no cumplimiento ajustar el valor del coeficiente emisor mediante un factor de corrección, incorporar los emisores de fugas corregidos a los nudos del modelo, y realizar una nueva simulación. Repetir este proceso hasta el cumplimiento de los criterios mencionados.
6. Comparar el caudal medio de fugas simulado con el caudal medio de fugas teórico. Si la diferencia es aceptable, proseguir al siguiente paso. En caso contrario ajustar el valor del coeficiente emisor mediante el factor de corrección. Incorporar los emisores de fugas corregidos a los nudos del modelo, y realizar una nueva simulación.
7. Calibrar las pérdidas de carga en la red, ajustando los coeficientes de rugosidad de las tuberías más influyentes en el comportamiento hidráulico de la red.
8. Verificar el cumplimiento del criterio de calibración definido para la calibración de las pérdidas de carga; y que está asociado al error cuadrático medio entre las presiones simuladas y las presiones observadas.
9. Comparar el caudal medio de fugas simulado con el caudal medio de fugas teórico. En caso de cumplimiento, ir al siguiente paso. En caso de no cumplimiento ajustar el valor del coeficiente emisor global mediante un factor de corrección, distribuir espacialmente el emisor de fugas corregido a los nudos del modelo, y realizar una nueva simulación. Repetir este proceso hasta el cumplimiento de los criterios mencionados.

6. CAPITULO 3

6.1 CASO DE ESTUDIO

6.2 INFORMACIÓN TÉCNICA DEL SECTOR

La ciudad de Durán cuenta con una red de abastecimiento de agua potable que tiene una extensión aproximada de 520 km, con diámetros que varían desde los 63mm e inclusive pueden superar los 400mm, este se abastece de unos pozos ubicados a 30 km de la zona urbana, la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Durán (EMAPAD) es la encargada de brindar este servicio.

De manera general se conoce que el servicio de abastecimiento de agua potable es discontinuo y que solo en el caso de la ciudadela El Recreo, compuesta por 5 etapas y con una extensión aproximada de 219 ha, se dispone de este servicio con normalidad, pero a pesar de esto las presiones de servicio registradas pueden llegar a ser menores de 5 mca en las horas de mayor consumo.

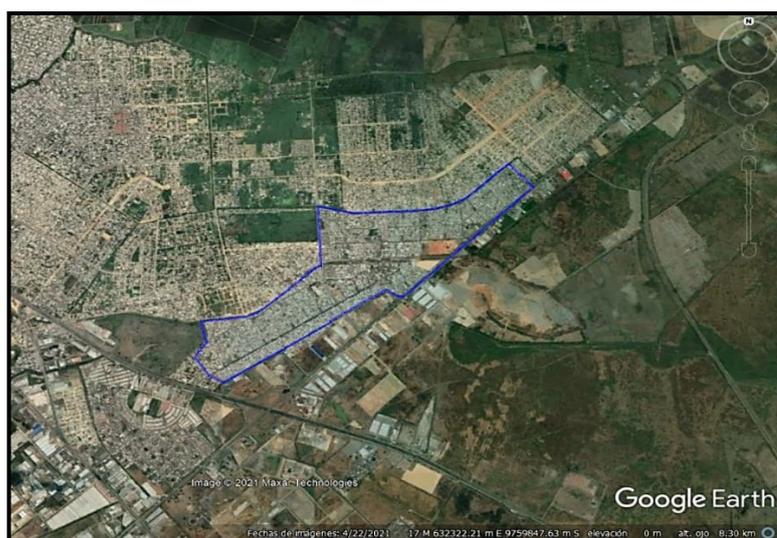


Ilustración 7: Duran, Guayas
Fuente: (EARTH, 2022)

La topografía de la zona fue estimada en base a curvas de nivel generadas de Google Earth. Las elevaciones varían entre 4 y 20 msnm.

De acuerdo a datos del INEC, el área de estudio contiene 108 polígonos censales, los cuales proporcionan la información de la población para cada uno de ellos al año 2010.

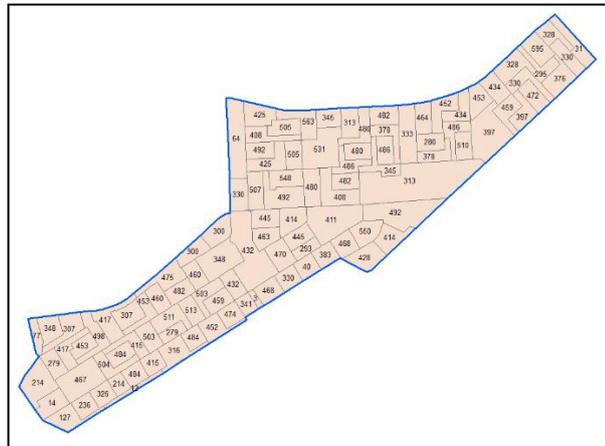


Ilustración 8: Polígonos censales de El Recreo.
Fuente: INEC, 2010

Con la base de datos del censo poblacional, se ha considerado la población disponible de Durán, para calcular la tasa de crecimiento del cantón y utilizarlo específicamente para la ciudadela El Recreo. Las fórmulas para proyectar la población al año 2021, son las que se muestran a continuación.

$$Pf = Pi \times (1 + r)^t$$

$$r = [(Pf/Pi)^{1/t}] - 1$$

Tabla 1: Proyección de la población al año 2021 del cantón Durán.

Año	r	Población Durán
2010		243235
2011	2.79%	250033
2012	2.78%	256954
2013	2.76%	263970
2014	2.75%	271085
2015	2.73%	278296
2016	2.71%	285609
2017	2.70%	293005
2018	2.68%	300488
2019	2.66%	308059
2020	2.64%	315724
2021	2.63%	323478

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Tabla 2: Proyección de la población al año 2021 de El Recreo.

Año	r	Población El Recreo
2010		42344
2011	2.79%	43527
2012	2.78%	44732
2013	2.76%	45954
2014	2.75%	47192
2015	2.73%	48448
2016	2.71%	49721
2017	2.70%	51008
2018	2.68%	52311
2019	2.66%	53629
2020	2.64%	54963
2021	2.63%	56313

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

La ciudadela Recreo provee de agua potable a los habitantes a través de una línea de impulsión de hierro fundido de 22 pulgadas o 550mm de diámetro, mediante el subsistema denominado El Chobo – El Recreo, que extrae sus aguas desde los pozos 9 y 10 ubicados en El Chobo. La tubería de salida de los pozos es de 250 mm de hierro fundido.

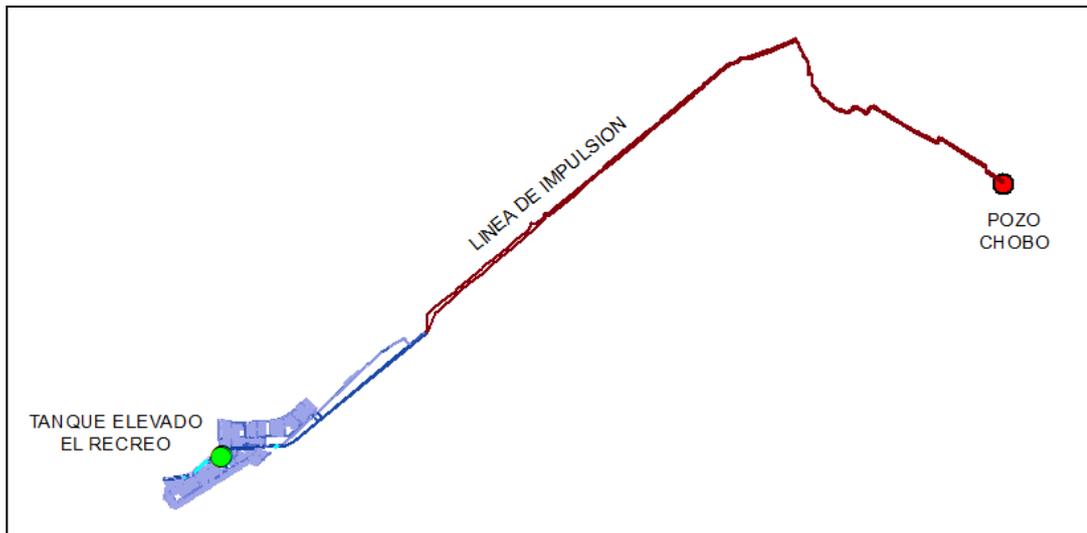


Ilustración 9: Línea de impulsión Chobo - El Recreo.
Elaboración: López Mena Kevin Andrés

La estación de bombeo No. 9, denominada C22-CHR-EB-9, posee una bomba con una turbina vertical Wortington de 6 etapas de 350 m³/h y motor eléctrico vertical General Electric de 200 HP. De las bitácoras de mediciones de caudal proporcionados por EMAPAD, se obtuvo que el caudal inyectado al sistema es de 90 l/s.

La estación de bombeo No. 10, denominada C22-CHR-EB-10, tiene una electrobomba sumergible Franklim Electric de 4 etapas de 100 HP, adquirida en el año 2021, se determinó que el flujo que bombea al acueducto es de 73.02 l/s

El pozo de captación de la bomba C22-CHR-EB-9, fue perforado y entubado en el año 1990 y tiene una profundidad de 120m, sus niveles estáticos fluctúan desde 19m hasta 21m, y niveles dinámicos que oscilan desde 30m hasta 33m.

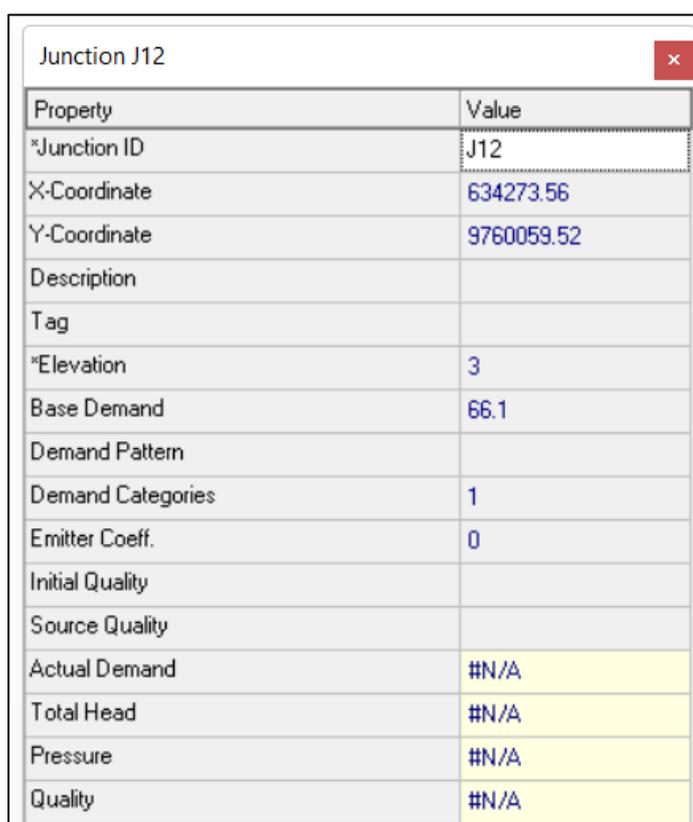
El pozo No. 10 fue perforado y entubado en el año 2007 y tiene una profundidad de 120m, al igual que el pozo 9 los niveles estáticos que fluctúan 19m hasta 21m, y niveles dinámicos que oscilan desde 30m hasta 33m.

6.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO HIDRÁULICO

Con la información de la topología de la red georreferenciada, se generaron nodos en EPANET y se asignó la elevación de acuerdo a las curvas de nivel del sector. También se asignaron las demandas en los nudos correspondientes.

- Caudal bocatoma (nudo J11) = 2200 m³/día = 25.5 l/s
- Caudal Recreo (nudo J12) = 5711 m³/día = 66.1 l/s

Ilustración 10: Representación de datos de un nudo, Software de aguas Epanet 2.0.



Property	Value
*Junction ID	J12
X-Coordinate	634273.56
Y-Coordinate	9760059.52
Description	
Tag	
*Elevation	3
Base Demand	66.1
Demand Pattern	
Demand Categories	1
Emitter Coeff.	0
Initial Quality	
Source Quality	
Actual Demand	#N/A
Total Head	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Se mantuvieron las características de las tuberías existentes con diámetro de las tuberías para la línea de impulsión igual a 550 mm de hierro fundido y para las tuberías de salida de los pozos igual a 250 mm de hierro fundido. La rugosidad para el material es igual a 0.26 mm, para una primera simulación.

Ilustración 11: Representación de datos de una tubería, Software de aguas Epanet 2.0.



Property	Value
*Pipe ID	P7
*Start Node	J7
*End Node	J8
Description	
Tag	
*Length	7956
*Diameter	550
*Roughness	0.26
Loss Coeff.	0
Initial Status	Open
Bulk Coeff.	
Wall Coeff.	
Flow	#N/A
Velocity	#N/A
Unit Headloss	#N/A
Friction Factor	#N/A
Reaction Rate	#N/A
Quality	#N/A
Status	#N/A

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Los pozos, y los datos de: la curva de abatimiento, niveles dinámico y estático se representan en EPANET en los reservorios y en una válvula de propósito general para cada uno (pozos 9 y 10).

Ilustración 12: Representación de datos de un reservorio, Software de aguas Epanet 2.0.

Reservoir R-9	
Property	Value
*Reservoir ID	R-9
X-Coordinate	652236.88
Y-Coordinate	9762878.93
Description	
Tag	
*Total Head	-21
Head Pattern	
Initial Quality	
Source Quality	
Net Inflow	#N/A
Elevation	#N/A
Pressure	#N/A
Quality	#N/A

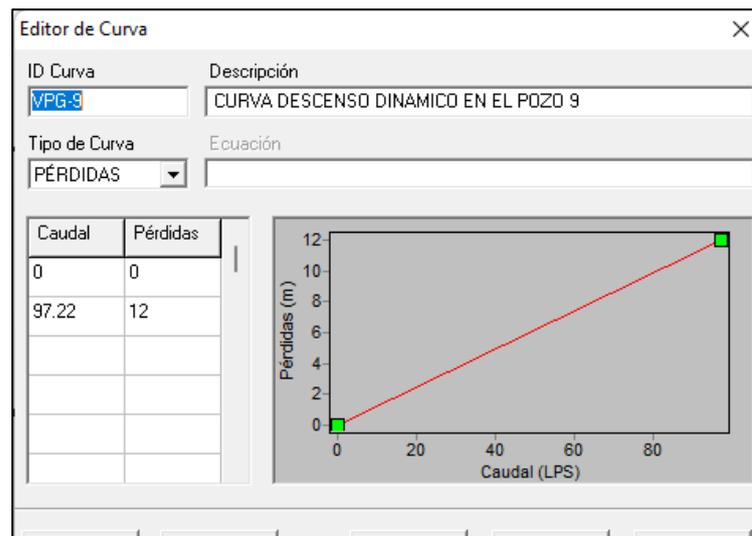
Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Ilustración 13: Representación de datos de una válvula de propósito general, Software de aguas Epanet 2.0.

Valve V-9	
Property	Value
*Valve ID	V-9
*Start Node	R-9
*End Node	J13
Description	
Tag	
*Diameter	250
*Type	GPV
*Setting	VPG-9
Loss Coeff.	0
Fixed Status	None
Flow	#N/A
Velocity	#N/A
Headloss	#N/A
Quality	#N/A
Status	#N/A

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

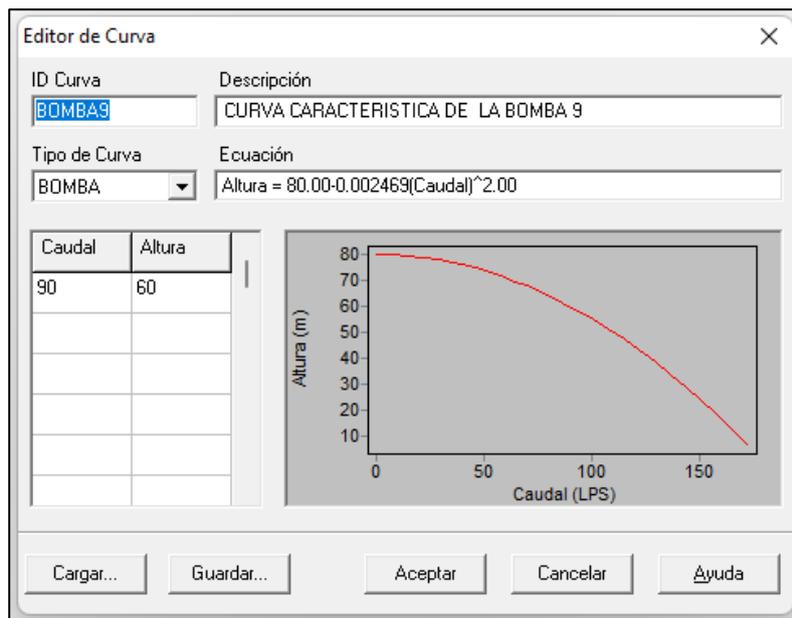
Ilustración 14: Representación de la curva de una válvula de propósito general, Software de aguas Epanet 2.0.



Elaboración: López Mena Kevin Andrés

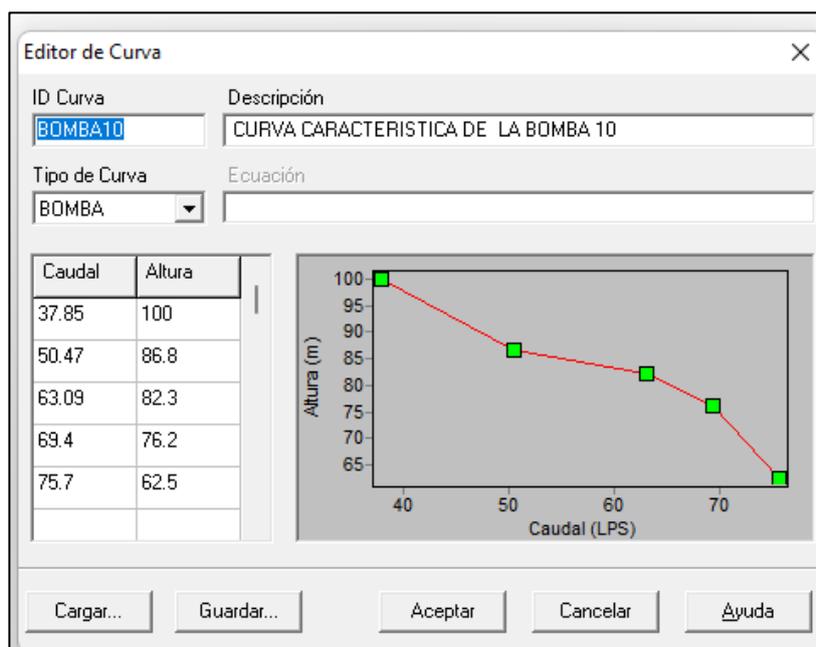
Las estaciones de bombeo se representan en EPANET asignándose la curva de la cada bomba, considerando los datos de caudal y carga para cada una.

Ilustración 15: Representación de la curva de la bomba 9, Software de aguas Epanet 2.0.



Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Ilustración 16: Representación de la curva de la bomba 10, Software de aguas Epanet 2.0.



Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Como resultado de representar nudos, tuberías, bombas y reservorios en EPANET y los datos correspondientes, se obtiene la estructura del modelo hidráulico. La información se presenta en las tablas y en los anexos 1 y 2.

Tabla 3: Datos de nudos, Software de aguas Epanet 2.0.

Nudo	Elevación	Demanda base
	M	l/s
J1	4	0
J10	7	0
J11	7	25.5
J12	3	66.1
J2	4	0
J3	4.6	0
J4	4	0
J5	4.3	0
J6	4.4	0
J7	3	0
J8	2.5	0
J9	8	0

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Tabla 4: Datos de tuberías, Software de aguas Epanet 2.0.

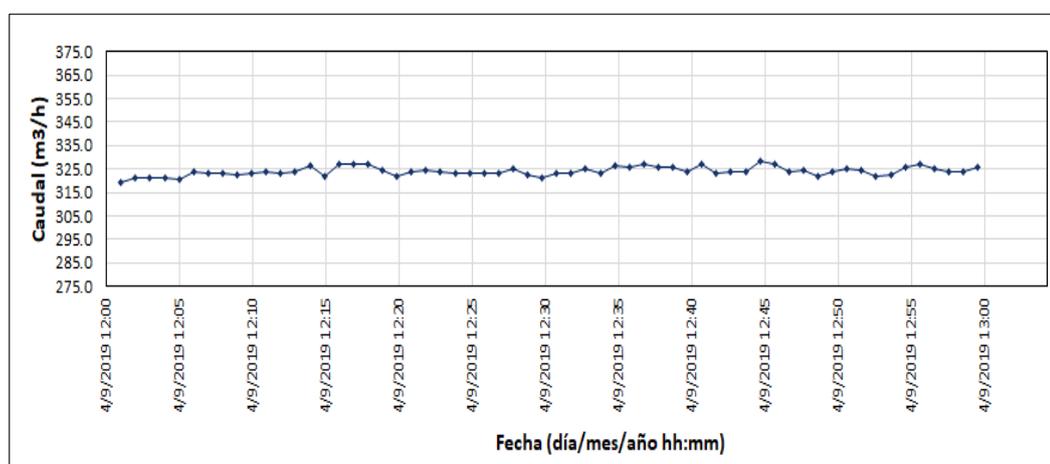
Tubería	Longitud	Diámetro	Rugosidad
	M	mm	mm
P1	987	550	0.26
P10	694	550	0.26
P11	144	550	0.26
P12	41	250	0.26
P13	41	250	0.26
P2	680	550	0.26
P3	1037	550	0.26
P4	5268	550	0.26
P5	924	550	0.26
P6	2197	550	0.26
P7	7956	550	0.26
P8	378	550	0.26
P9	2918	550	0.26

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

6.4 DATOS DE CALIBRACIÓN

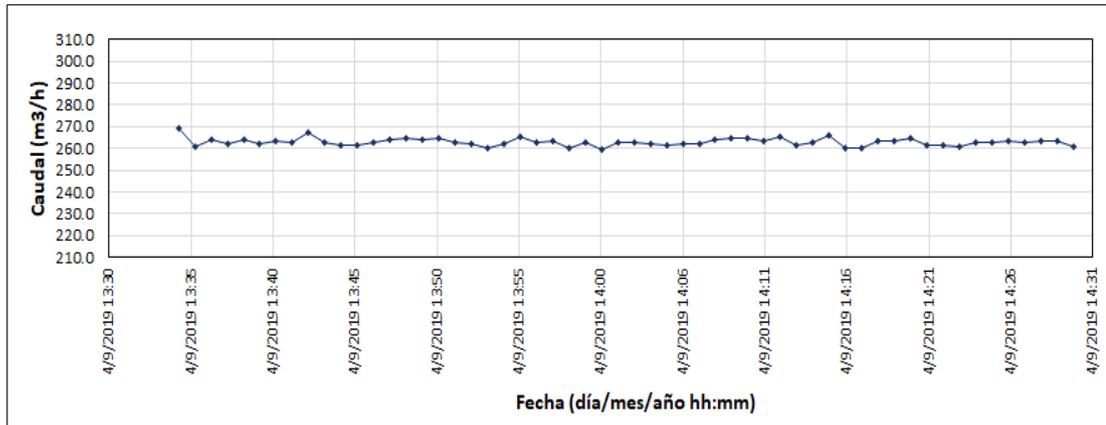
Para la calibración del modelo hidráulico se toma en cuenta la información proporcionada por el GAD Municipal del cantón Durán. Entre los datos se encuentra la medición del caudal tomado a la salida de la estación de bombeo en Chobo de los pozos 9 y 10 como se muestran en el gráfico.

Ilustración 17: Medición de caudal a salida del pozo No. 9



Fuente: (HUNGRÍA COPADE, 2018)

Ilustración 18: Medición de caudal a salida del pozo No. 10

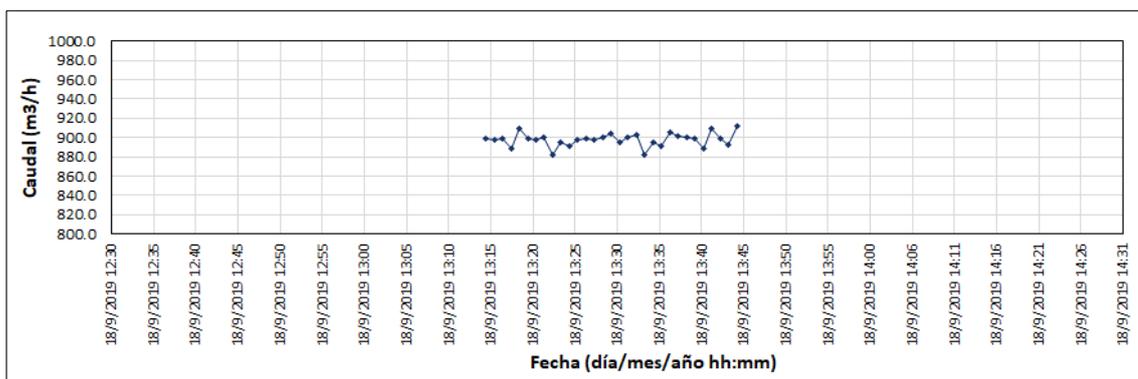


Fuente (HUNGRÍA COPADE, 2018)

El caudal de fuga estimado a partir de estas mediciones y que es un dato proporcionado por el GAD Municipal del Cantón Duran es de 38.3 l/s.

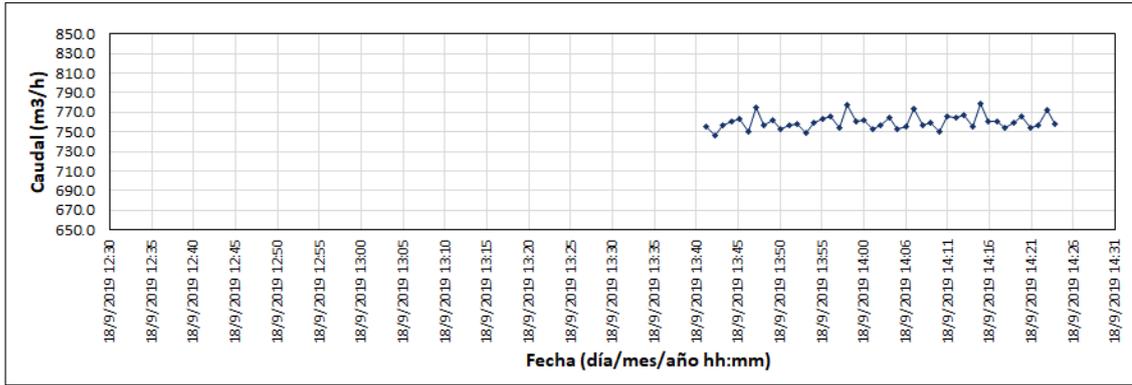
Otra de la información que se requiere para calibrar el modelo es la presión en la entrada de El Recreo, que es alrededor de 15 mca.

Ilustración 19: Medición de caudal en la línea de impulsión (tramo P4).



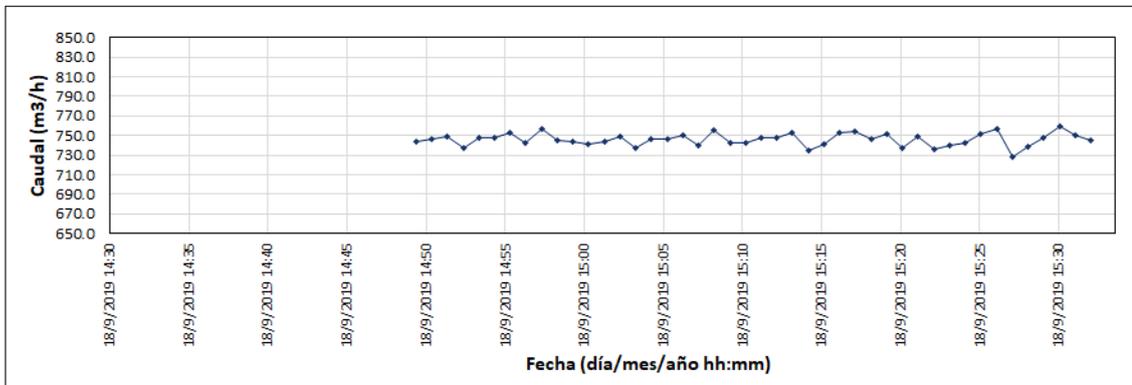
Fuente: (HUNGRÍA COPADE, 2018)

Ilustración 20: Medición de caudal en la línea de impulsión (tramo P5 y P6).



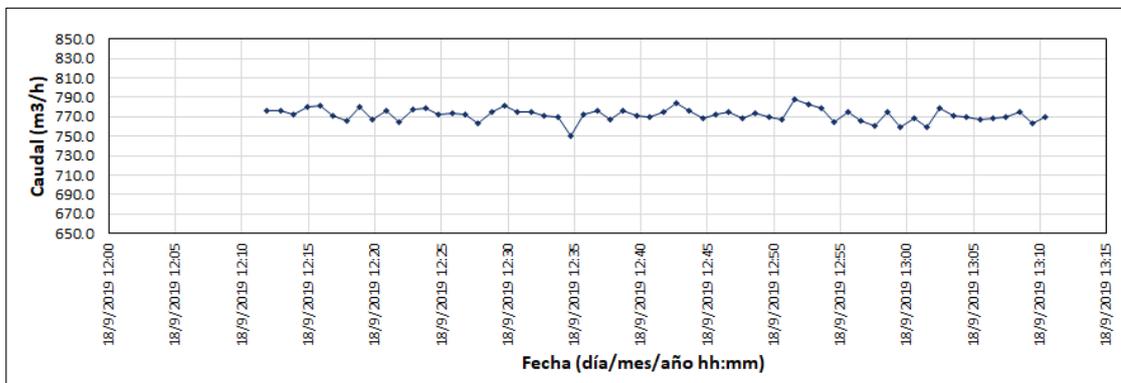
Fuente: (HUNGRÍA COPADE, 2018)

Ilustración 21: Medición de caudal en la línea de impulsión (tramo P7, P8 y P9).



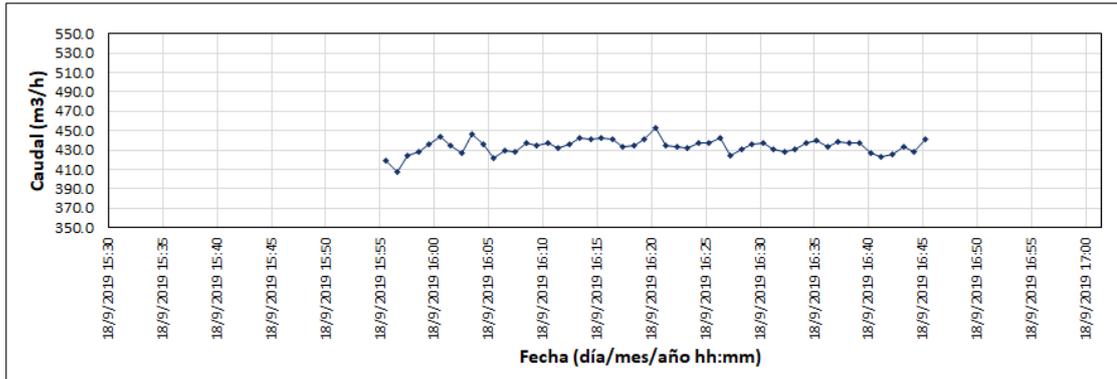
Fuente: (HUNGRÍA COPADE, 2018)

Ilustración 22: Medición de caudal en la línea de impulsión, antes de bocatoma.



Fuente: (HUNGRÍA COPADE, 2018)

Ilustración 23: Medición de caudal en la línea de impulsión, en la entrada de Recreo.



Fuente: (HUNGRÍA COPADE, 2018)

6.5 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN

6.5.1 Calibración del emisor global de fugas

Se realizó la carga del modelo hidráulico en EPANET, asignándose a cada nudo los datos de elevación. La demanda base para El Recreo es 66.10 l/s (nudo J12) y bocatoma es 25.50 l/s (nudo J11).

También se asignó en las tuberías la longitud, diámetro y material correspondiente. Para una primera modelación se utilizó un coeficiente de rugosidad de $K= 0.26$, considerándose como tubería nueva.

Se calculó el coeficiente emisor global de fuga K , conociéndose los valores del caudal de fuga igual a 38.30 l/s y la presión promedio igual a 10 mca. Para el presente caso de estudio N1 es igual a 0.50, porque este valor se ajusta más al material de la tubería que es hierro fundido.

$$K_{global} = \frac{38.30}{10^{0.50}}$$

$$K_{global} = 12.11$$

El coeficiente K de fuga es igual a $12.11 \text{ l/s}/(\text{mca}^{0.5})$ los cuales fueron aplicados equitativamente a dos nudos (J4 y J5) de la línea de conducción, según resultados de pruebas de detención de fugas, realizado por el GAD Municipal.

Para una primera simulación el resultado de la presión a la salida de la estación de bombeo es igual a 28.08 mca y en El Recreo es igual a 21.79 mca. El caudal total de la salida de la estación es 152.79 l/s. En el anexo 2 y 3 se muestra gráficamente los resultados para toda la línea de conducción Chobo – El Recreo.

6.5.2 Calibración de las pérdidas de carga

Para calibrar las pérdidas de carga en la red, se ajustó el coeficiente de pérdidas por fricción de la tubería, para obtener un valor más real a la situación actual, debido a que la tubería es antigua y presenta deterioro.

Se realizó un análisis con los datos de caudal y presión de varios tramos de la línea de conducción, y mediante las fórmulas mencionadas en la metodología se determinó la rugosidad por cada tramo, luego se obtuvo el valor promedio igual a 2.53. Este valor fue ajustado en el modelo hidráulico.

Tabla 5: Cálculo de rugosidades para diferentes tramos de la línea de conducción.

Tubería	Longitud	Diámetro interno	Caudal	H1	H2	hf	f	K
	m	mm	l/s	m	m	m		Mm
P4	5268	550	249.36	64.50	47.80	16.70	0.0311	2.92
P5 + P6	3121	550	211.09	47.80	41.50	6.30	0.0276	1.85
P7+P8+P9	11252	550	213.70	41.50	15.33	26.17	0.0310	2.82

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

6.5.3 Resultados de la calibración

Como resultado de las calibraciones realizadas por el emisor global de fugas y por las pérdidas de carga se obtienen presiones bajas en los nudos, las pérdidas de carga por fricción en los tramos de tubería son altas y se presentan mayores caudales de fugas. Esto se puede observar gráficamente en los anexos 5 y 6.

La presión de salida de la estación de bombeo es 28.34 mca y a la entrada del Recreo resulta 17.52 mca, lo que resulta insuficiente para todas las etapas de la ciudadela.

Tabla 6: Resultados en nudos, calibración del modelo, Software de aguas Epanet 2.0.

Nudo	Elevación	Demanda	Piezométrica	Presión
	M	l/s	m	m
J1	4	0	32.65	28.59
J10	7	0	20.71	13.68
J11	7	25.5	20.7	13.68
J12	3	66.1	20.56	17.52
J2	4	0	32.4	28.34
J3	4.6	0	31.63	26.97
J4	4	31.09	30.46	26.41
J5	4.3	28.6	26.7	22.35
J6	4.4	0	26.31	21.87
J7	3	0	25.4	22.35
J8	2.5	0	22.08	19.54
J9	8	0	21.92	13.9

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Los resultados de caudales y pérdidas en las tuberías se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7: Resultados en tuberías, calibración del modelo, Software de aguas Epanet 2.0.

Tubería	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérdidas
	m	mm	mm	l/s	m/s	m/km
P1	987	550	2.53	71.15	0.3	0.25
P10	694	550	2.53	66.1	0.28	0.22
P11	144	550	2.53	25.5	0.11	0.03
P12	41	250	2.53	80.14	1.63	20.8
P13	41	250	2.53	71.15	1.45	16.41
P2	680	550	2.53	151.29	0.64	1.13
P3	1037	550	2.53	151.29	0.64	1.13
P4	5268	550	2.53	120.2	0.51	0.71
P5	924	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P6	2197	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P7	7956	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P8	378	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P9	2918	550	2.53	91.6	0.39	0.42

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

7. SOLUCIONES PARA EL SUBSISTEMA DE AGUA POTABLE CHOBO – RECREO

Partiendo del modelo calibrado por caudal de fugas y rugosidad de tuberías, se han planteado diversas soluciones, las cuales se han enumerado en diversas alternativas, para optimizar el sistema de agua potable de las estaciones y la línea de impulsión Chobo – Recreo, esto con el fin de reducir pérdidas y mejorar las presiones.

7.1 Alternativa 1: Disminuir el coeficiente de fugas un 80%.

Las fugas ocurren con frecuencia en las líneas de conducción de agua potable, pueden resultar en pérdidas económicas y en un mal aprovechamiento de un recurso natural. Estas se pueden presentar en las uniones de tuberías, codos, roturas de los conductos y en las válvulas instaladas.

Es necesario detectar las fugas y eliminarlas, esto es posible gracias a procedimientos e instrumentos especiales. Con las características de la red,

estimación de las demandas y mediciones de presión se puede estimar la reducción del agua no contabilizada.

Una vez obtenido los datos se puede aplicar a un modelo hidráulico, calcular el coeficiente emisor y disminuirlo en los nudos ya identificados en campo en donde se realizó la detección de la fuga.

Para el presente trabajo se propone una reducción de fugas del 80 %. El coeficiente global de fugas calculado en la calibración del modelo es 12.11. Si se reduce este valor al propuesto, el resultado es K igual a 2.42, que al dividir en los dos nudos asignados de la red (J4 y J5) el coeficiente emisor de fugas es 1.21.

Al cambiar el coeficiente de fuga, se observa que la presión en la entrada de El Recreo da como resultado 34.34 mca. Lo que es un aumento significativo a la presión en este punto. El caudal de fuga se reduce a un valor de 15.42 l/s.

Tabla 8: Resultados Epanet de la modelación de la Línea de Impulsión. Presiones, Alternativa 1, Software de aguas Epanet 2.0.

Nudo	Elevación	Demanda	Piezométrica	Presión
	m	l/s	m	m
J1	4	0	47.27	43.18
J10	7	0	37.56	30.5
J11	7	25.5	37.56	30.5
J12	3	66.1	37.41	34.34
J2	4	0	47.09	43.01
J3	4.6	0	46.71	42.02
J4	4	7.57	46.12	42.03
J5	4.3	7.85	43.55	39.17
J6	4.4	0	43.17	38.69
J7	3	0	42.25	39.17
J8	2.5	0	38.93	36.36
J9	8	0	38.78	30.72

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Como se puede observar en la Tabla 8 las presiones obtenidas de la modelación de la alternativa 1 se tienen presiones por encima de los 30 mca lo cual cumpliría con los requerimientos técnicos y normativos de operación óptima de la Línea de impulsión.

Tabla 9: Resultados modelación de la Línea de Impulsión, Pérdidas. Alternativa 1, Software de aguas Epanet 2.0.

Tubería	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad mm	Caudal l/s	Velocidad m/s	Pérdidas m/km
P1	987	550	2.53	59.06	0.25	0.17
P10	694	550	2.53	66.1	0.28	0.22
P11	144	550	2.53	25.5	0.11	0.03
P12	41	250	2.53	47.96	0.98	7.48
P13	41	250	2.53	59.06	1.2	11.32
P2	680	550	2.53	107.02	0.45	0.57
P3	1037	550	2.53	107.02	0.45	0.57
P4	5268	550	2.53	99.17	0.42	0.49
P5	924	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P6	2197	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P7	7956	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P8	378	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P9	2918	550	2.53	91.6	0.39	0.42

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

7.1.1 Análisis presupuestario referencial para Alternativa 1

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
DETECCION DE FUGAS Y BOLSAS DE AIRE Y MAPEO INERCIAL DE LA CONDUCCION DE 550MM					
1	Inspección de tubería con tecnología <u>SmartBallTM</u> . Incluye: - Logística de equipos y personal técnico especializado en el uso de tecnología <u>SmartBallTM</u> . - Personal técnico de apoyo a la inspección de la tubería con tecnología <u>SmartBallTM</u> . - Instalación de sensores externos a la tubería para monitoreo de <u>SmartBallTM</u> (tanto para inspección como para mapeo inercial). - Trabajos de inserción y recuperación de los equipos en la tubería. - Operación del servicio de inspección de tubería con tecnología <u>SmartBallTM</u> . - Interpretación de datos y entrega de reporte preliminar y final de la inspección. - Marcación en terreno de <u>POIs</u> , (puntos de interés) reportados como resultado de la inspección.	KM	23,18	\$15.000,00	\$347.700,00
2	Mapeo inercial de tubería con tecnología <u>SmartBallTM</u>	KM	23,18	\$5.500,00	\$127.490,00
3	Sondeos exploratorios para localización de tubería (basado en planos sin georreferenciación de tubería y elementos)	UND	50,00	\$1.500,00	\$75.000,00
4	Adecuaciones especiales en las conducciones para ingresar/extraer el equipo de la tubería.	UND	2,00	\$20.000,00	\$40.000,00
SUBTOTAL 1					\$590.190,00

OBRA CIVIL					
1	EXCAVACION A MAQUINA, PROFUNDIDAD HASTA 3,00M (INCLUYE DESALOJO)	M3	16166,70	\$12,00	\$194.000,40
2	INSTALACION DE TABLESTACA, INCLUYE: ALQUILER, TRANSPORTE, RETIRO Y DE AMERITAR REINSTALACION DEL ELEMENTO EN OBRA	M2	5154,60	\$33,25	\$171.390,45
3	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL IMPORTADO FINO	M3	4507,60	\$4,00	\$18.030,40
4	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE LUGAR	M3	5154,60	\$5,00	\$25.773,00
5	REPLANTILLO CON ARENA GRUESA	M3	773,19	\$11,00	\$8.505,09
SUBTOTAL 2					\$417.699,34
TOTAL, SIN IVA					\$1.007.889,34

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

El presupuesto general referencial de la alternativa 1 presenta un valor sin IVA \$1.0007.889,34 dólares americanos.

7.2 Alternativa 2: Cambiar tramos de tubería con mayor pérdida de carga.

Para el cálculo pérdidas de carga por fricción, en un tramo de tubería, es de suma importancia conocer el coeficiente de rugosidad. Este valor depende del material, de las condiciones, y del tiempo de uso. En tuberías antiguas se produce desgaste de las paredes interiores, es más alto el valor de la rugosidad al presentarse el contacto del agua con estas.

Dependiendo del material el coeficiente puede variar significativamente. En tuberías de plásticos el valor es alrededor de 0.0010 – 0.0015 mm y para tuberías metálicas varía entre 0.02 – 0.25.

En el presente trabajo los tramos P2, P3 Y P4, ubicados después de la salida de la estación de bombeo, son los que representan mayor pérdida de carga en la línea de impulsión, de acuerdo a los resultados de la calibración. Sumados tienen un valor de 2.97 m/km.

Se plantea reemplazar estos tramos considerándolos como tuberías nuevas de hierro fundido, el valor de la rugosidad para estos sería 0.26 y la longitud total es 6985 metros.

El resultado de la presión en la entrada de El Recreo es 19.19 mca. Lo que produce muy poco mejoramiento a la presión Los resultados de presión y caudal en toda la línea se muestran en los anexos 9 y 10.

**Tabla 10: Resultados Epanet de la modelación de la Línea de Impulsión, Presiones.
Alternativa 2, Software de aguas Epanet 2.0.**

Nudo	Elevación	Demanda	Piezométrica	Presión
	m	l/s	m	m
J1	4	0	32.12	28.06
J10	7	0	22.38	15.35
J11	7	25.5	22.38	15.35
J12	3	66.1	22.23	19.19
J2	4	0	31.87	27.81
J3	4.6	0	31.4	26.75
J4	4	31.23	30.69	26.64
J5	4.3	29.65	28.37	24.02
J6	4.4	0	27.98	23.54
J7	3	0	27.07	24.02
J8	2.5	0	23.75	21.21
J9	8	0	23.6	15.57

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Tabla 11: Resultados modelación de la Línea de Impulsión, Pérdidas. Alternativa 2, Software de aguas Epanet 2.0.

Tubería	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérdidas
	m	mm	Mm	l/s	m/s	m/km
P1	987	550	2.53	71.36	0.3	0.25
P10	694	550	2.53	66.1	0.28	0.22
P11	144	550	2.53	25.5	0.11	0.03
P12	41	250	2.53	81.11	1.65	21.31
P13	41	250	2.53	71.36	1.45	16.51
P2	680	550	0.26	152.48	0.64	0.69
P3	1037	550	0.26	152.48	0.64	0.69
P4	5268	550	0.26	121.25	0.51	0.44
P5	924	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P6	2197	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P7	7956	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P8	378	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P9	2918	550	2.53	91.6	0.39	0.42

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

7.2.1 Análisis presupuestario referencial para Alternativa 2

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
PRELIMINARES					
1	EXCAVACION A MAQUINA, PROFUNDIDAD HASTA 3,00M (INCLUYE DESALOJO)	M3	15367,00	\$12,00	\$184.404,00
2	INSTALACION DE TABLESTACA, INCLUYE: ALQUILER, TRANSPORTE, RETIRO Y DE AMERITAR REINSTALACION DEL ELEMENTO EN OBRA	M2	7683,50	\$33,25	\$255.476,38
3	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL IMPORTADO FINO	M3	6286,50	\$4,00	\$25.146,00
4	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE LUGAR	M3	7683,50	\$5,00	\$38.417,50
5	REPLANTILLO CON ARENA GRUESA	M3	1153,00	\$11,00	\$12.683,00
6	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE HIERRO DUCTIL DN500 INCLUYE ACCESORIOS	TON	667,00	\$870,00	\$580.290,00
TOTAL, SIN IVA					\$1.096.416,88

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

El presupuesto general referencial de la alternativa 2 presenta un valor sin IVA \$1.096.416,88 dólares americanos.

7.3 Alternativa 3: Cambiar bomba 9.

La obligación al cambio de un sistema de bombeo puede deberse a: mal dimensionamiento y selección de las características de las bombas, aumento de los caudales en la red de agua potable, fallos de cavitación, mal dimensionamiento de tuberías, falta de mantenimiento, entre otros.

Para el caso de estudio se plantea cambiar las bombas debido a que el caudal de diseño original de éstas ha aumentado, por el crecimiento poblacional del sector y al aumento del caudal de fugas.

Debido a que el sistema del pozo 9 es el más antiguo, se plantea cambiar estas bombas. Esto se representa en el modelo al asignar un nuevo caudal y carga para la bomba 9. Para el caudal se considera al sumar las demandas bases en Recreo, bocatoma y el caudal de fugas. Para la carga se estima que para la ciudadela El Recreo se requiere de una presión mínima de 30 mca. El punto de diseño es:

- Caudal = 130 l/s
- Carga = 80 mca

Con estos datos se obtiene una presión al final de la línea de impulsión igual a 33.60 mca. Los resultados se presentan en los anexos.

Tabla 12: Resultados Epanet de la modelación de la Línea de Impulsión, Presiones. Alternativa 3, Software de aguas Epanet 2.0.

Nudo	Elevación	Demanda	Piezométrica	Presión
	M	l/s	m	m
J1	4	0	49.7	45.61
J10	7	0	36.82	29.76
J11	7	25.5	36.81	29.75
J12	3	66.1	36.67	33.6
J2	4	0	49.55	45.46
J3	4.6	0	48.6	43.91
J4	4	39.7	47.14	43.06
J5	4.3	37.51	42.81	38.43
J6	4.4	0	42.42	37.95
J7	3	0	41.51	38.43
J8	2.5	0	38.19	35.62
J9	8	0	38.03	29.97

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Como se puede observar en la Tabla 12 las presiones obtenidas de la modelación de la alternativa 3 se tienen presiones por encima de los 30 mca lo cual cumpliría con los requerimientos técnicos y normativos de operación optima de la Línea de impulsión.

Tabla 13: Resultados modelación de la Línea de Impulsión, Pérdidas. Alternativa, Software de aguas Epanet 2.0.

Tubería	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Pérdidas
	m	mm	mm	l/s	m/s	m/km
P1	987	550	2.53	55.16	0.23	0.15
P10	694	550	2.53	66.1	0.28	0.22
P11	144	550	2.53	25.5	0.11	0.03
P12	41	250	2.53	113.64	2.32	41.76
P13	41	250	2.53	55.16	1.12	9.88
P2	680	550	2.53	168.8	0.71	1.4
P3	1037	550	2.53	168.8	0.71	1.4
P4	5268	550	2.53	129.11	0.54	0.82
P5	924	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P6	2197	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P7	7956	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P8	378	550	2.53	91.6	0.39	0.42
P9	2918	550	2.53	91.6	0.39	0.42

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

7.3.1 Análisis presupuestario referencial para Alternativa 3

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
PRELIMINARES					
1	RETIRO DE BOMBA EXISTENTE EN POZO N.-9 INCLUYE EXCAVACION A MAQUINA, PROFUNDIDAD HASTA 6,00M Y DESALOJO	UND	1,00	\$12.000,00	\$12.000,00
2	SUMINISTRO E INSTALACION DE BOMBA CAPRARI 170M3-HR@90M 80 HP INOX 316SS	UND	1,00	\$20.000,00	\$20.000,00
TOTAL, SIN IVA					\$32.000,00

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

El presupuesto general referencial de la alternativa 3 presenta un valor sin IVA \$32.000,88 dólares americanos.

Una vez que se cuenta con el presupuesto general de las 3 alternativas esto es; Alternativa 1 (Disminuir el coeficiente de fugas un 80%); Alternativa 2 (Cambiar tramos de tubería con mayor pérdida de carga); Alternativa 3 (Cambiar bomba 9) se presenta el cuadro comparativo de precios.

Tabla 14: Resumen de costos de los Presupuestos Referenciales

ALTERNATIVA	COSTO
Alternativa 1	\$ 1.0007.889,34
Alternativa 2	\$ 1.096.416,88
Alternativa 3	\$ 32.000,88

Elaboración: López Mena Kevin Andrés

Como se puede observar en la tabla 14 la alternativa más económica es la Alternativa 3 (Cambiar bomba 9).

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a la información disponible del caso de estudio, metodología propuesta y a criterios de calibración disponibles en la bibliografía, se asignó los consumos de la red y caudal de fugas, en los nudos; el material, rugosidad, y diámetro, en las tuberías. Como resultado se obtuvo un modelo hidráulico.

Del proceso de calibración se comprobó que los resultados son razonables y similares a la situación actual del caso de estudio. Se encontraron problemas como:

- Presiones bajas en los nudos de la red, en especial énfasis en la entrada de la ciudadela el Recreo, en las mediciones el valor es alrededor de 15 mca y el resultado de la modelación es igual a 17 mca.
- Las pérdidas de carga por fricción en las tuberías son significativas, al emplearse un valor de rugosidad alto igual 2.53 mm, la suma de las pérdidas en toda la línea de impulsión es igual a 42 m/km.
- El caudal de fuga es excesivamente alto 59.69 l/s, representando un 65% del caudal total suministrado. La suma de las demandas base es 91.60 l/s,
- Las bombas podrían no funcionar porque no se puede suplir el caudal total que debe suministrarse. El caudal para la ciudadela es de 66.1 l/s según las mediciones proporcionados, pero si se estima el caudal de diseño para un futuro puede aumentar. También pueden presentarse más fugas en la línea de impulsión.

Debido a las deficiencias del sistema, se planteó diferentes alternativas para optimizar el funcionamiento de las estaciones de bombeo del subsistema de agua potable Chobo – Recreo, entre ellas: identificar y reducir el caudal de fugas, reemplazar tramos de tuberías para así disminuir las pérdidas de carga por fricción

y cambiar el sistema de bombeo del pozo 9. Todas las alternativas fueron planteadas con el objetivo mejorar las presiones en el sistema, y de esto se concluye:

- Alternativa 1: La presión en los puntos de interés son, para Bocatoma 30.50 mca y para la entrada del Recreo 34.34 mca. El caudal total suministrado es 107.02 l/s.
- Alternativa 2: La presión para Bocatoma es 15.35 mca y para la entrada del Recreo es 19.19 mca. El caudal total es 152.48 l/s.
- Alternativa 3: La presión para Bocatoma es 29.75 mca y para la entrada del Recreo es 33.60 mca. El caudal total suministrado es 168.80 l/s.

La mejor alternativa para optimizar el sistema de agua potable es la número 1, ya que, al reducir considerablemente el coeficiente de fugas, se obtienen mayores presiones a la entrada del Recreo. Esto es posible al identificar las fallas en las tuberías, realizar reemplazo y/o ajuste de las uniones y válvulas en la red de distribución. Se recomienda utilizar instrumentos acústicos de detección de fugas para localizar estas con mayor precisión.

La alternativa de cambiar tramos de tubería, con el fin de reducir la rugosidad, no logra una reducción significativa de las pérdidas por fricción y puede resultar un elevado costo debido a la instalación, excavación y reemplazo de alrededor de 3 km de longitud. Otro inconveniente es el malestar en la población por el tiempo que requeriría realizar estos trabajos, al cortar el suministro de agua potable y restringir el tráfico en las zonas donde la tubería atraviesa zonas urbanas.

Al que cambiar la bomba 9 es necesario reemplazar todo el equipo y las válvulas de esta estación, lo que representa también un costo elevado, desperfectos en la instalación y corte del suministro de agua potable.

Se debe realizar en un futuro un estudio más exhaustivo de las condiciones de la red y más mediciones de caudal y presión para obtener mayor precisión en los resultados de la calibración e identificar pérdidas puntuales.

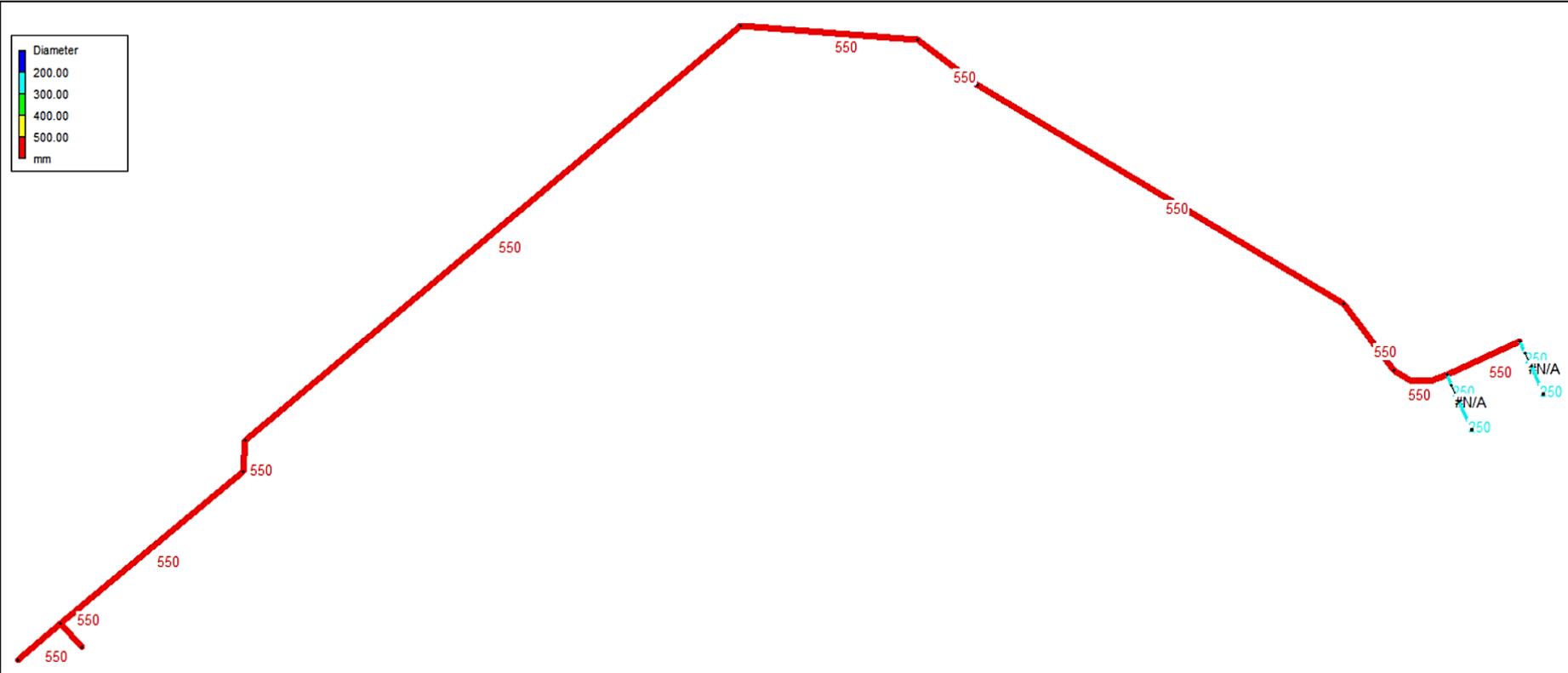
Se debe hacer una evaluación económica para identificar cuál de las alternativas propuesta resulta la más factible, considerando la población en el futuro para el sector de estudio.

9. REFERENCIAS

- agua, L. O. (18 de 08 de 2022). Obtenido de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/6190/1/T2619-MDE-Nu%C3%B1ez-El%20derecho.pdf>
- Cabrera, J. (s.f.). Recuperado el 15 de 08 de 2022, de http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_2.pdf
- Constitucion del Ecuador.* (18 de 08 de 2022). Obtenido de <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2008/6716.pdf>
- EARTH, G. (2022).
- ECUACONDUCTOS.* (s.f.). Obtenido de <https://www.ecuaconductos.com/tuberiasdehormigon>
- Galán, E. R. (2016). *Estado del arte de la calibración de modelos hidráulicos. Modelado de fugas Epanet.* Sevilla. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/47948/Estado%20del%20arte%20de%20la%20calibraci%C3%83%C2%B3n%20de%20modelos%20hidr%C3%83%C2%A1ulicos.%20Modelado%20de%20fugas%20con%20Epanet.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- HIDROTEC.* (s.f.). Obtenido de <https://www.hidrotec.com/blog/detectar-fugas-agua-tuberias-enterradas-soluciones/>
- HUNGRÍA COPADE, C. C. (2018). *INFORME TÉCNICO DE MEDICIONES DE CAUDALES EN TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DEL CANTÓN DURÁN, SUBSISTEMA CHOBO-RECREO. DURÁN.*
- INEN.* (18 de 08 de 2022). Obtenido de file:///C:/Users/Melan/Desktop/cpe_inen_5%20Parte_9-1.pdf
- MODELACIÓN HIDRAULICA.* (2018). Obtenido de https://bivica.org/files/ag_modelacion.pdf
- Moliá, R. (07 de 01 de 2019). *Redes de Distribucion.* Obtenido de slideshare: <https://www.academia.edu/37989723>
- MORKENGROUP.* (s.f.). Obtenido de <https://www.morkengroup.com/wp-content/uploads/2018/07/perdida4.png>
- Naturales, S. d. (2018). *Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Redes de distribucion de agua potable.* Coyoacán, Mexico. Recuperado el 4 de agosto de 2022, de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%20s.f.a.%20Dise%C3%B1o%20de%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20de%20agua%20potable.pdf
- Pino, E. A. (17 de 08 de 2022). *Enciclopedia del Ecuador.* Obtenido de <http://www.encyclopediadelecuador.com/geografia-del-ecuador/chobo/>
- Tecnoserviweb. (17 de 08 de 2022). *parroquia chobo.* Obtenido de parroquia chobo: <http://www.parroquiachobo.gob.ec/la-parroquia/>

10. ANEXOS

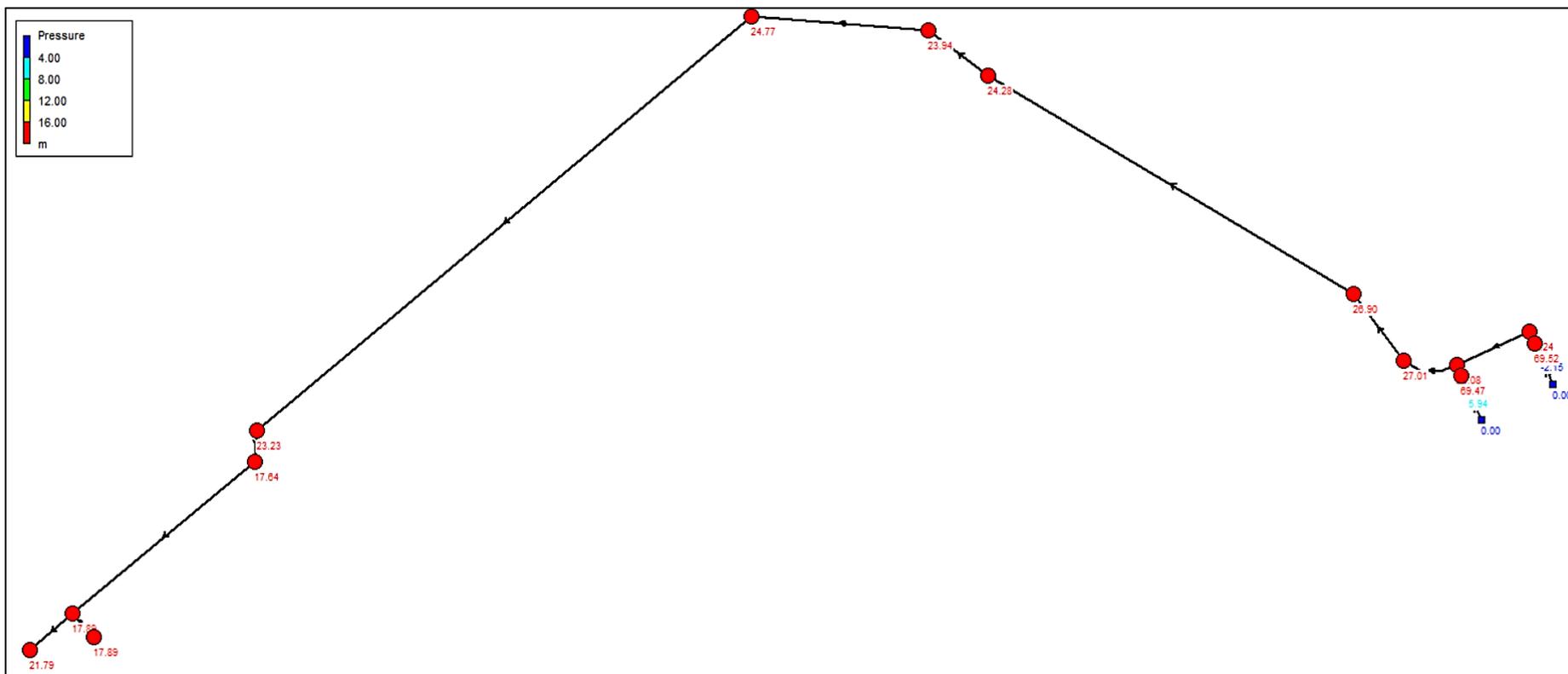
Anexo 1. Modelo hidráulico en EPANET (diámetro de tuberías).



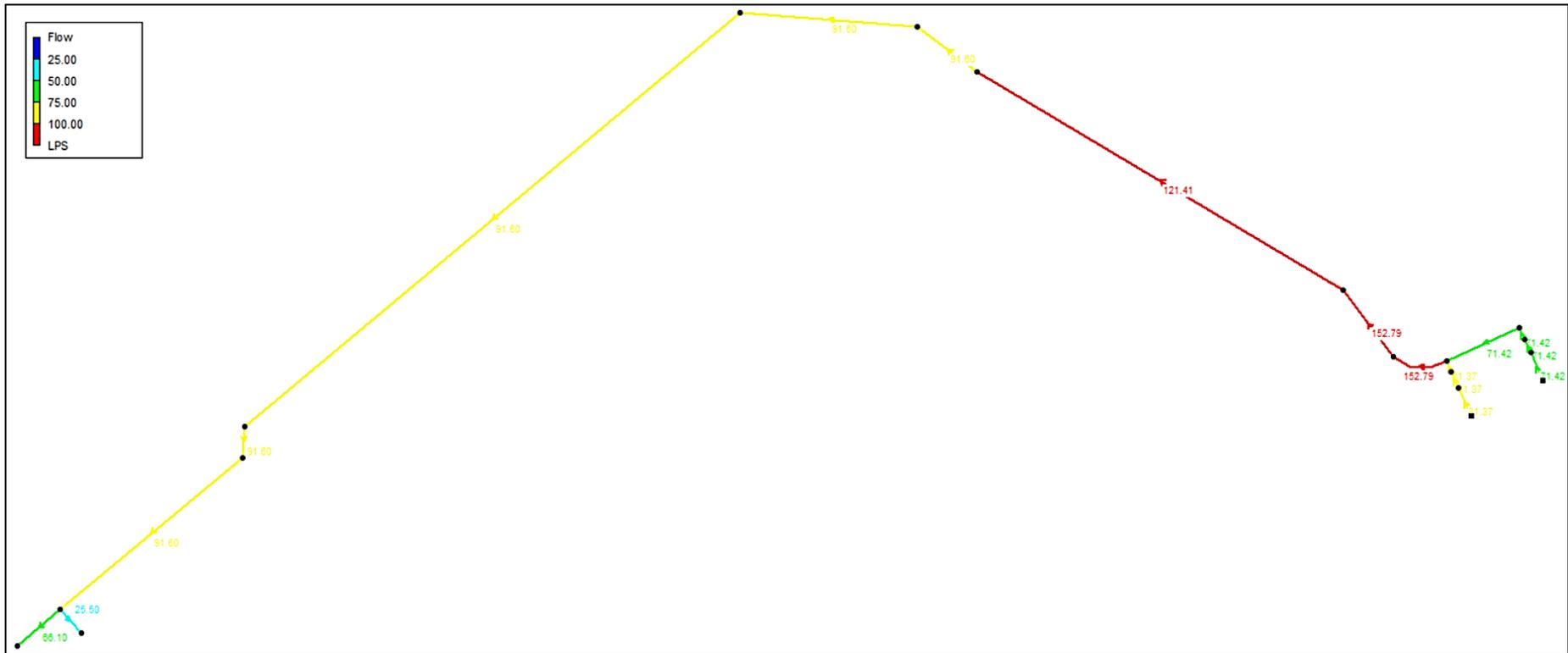
Anexo 2. Modelo hidráulico en EPANET (longitud de tuberías).



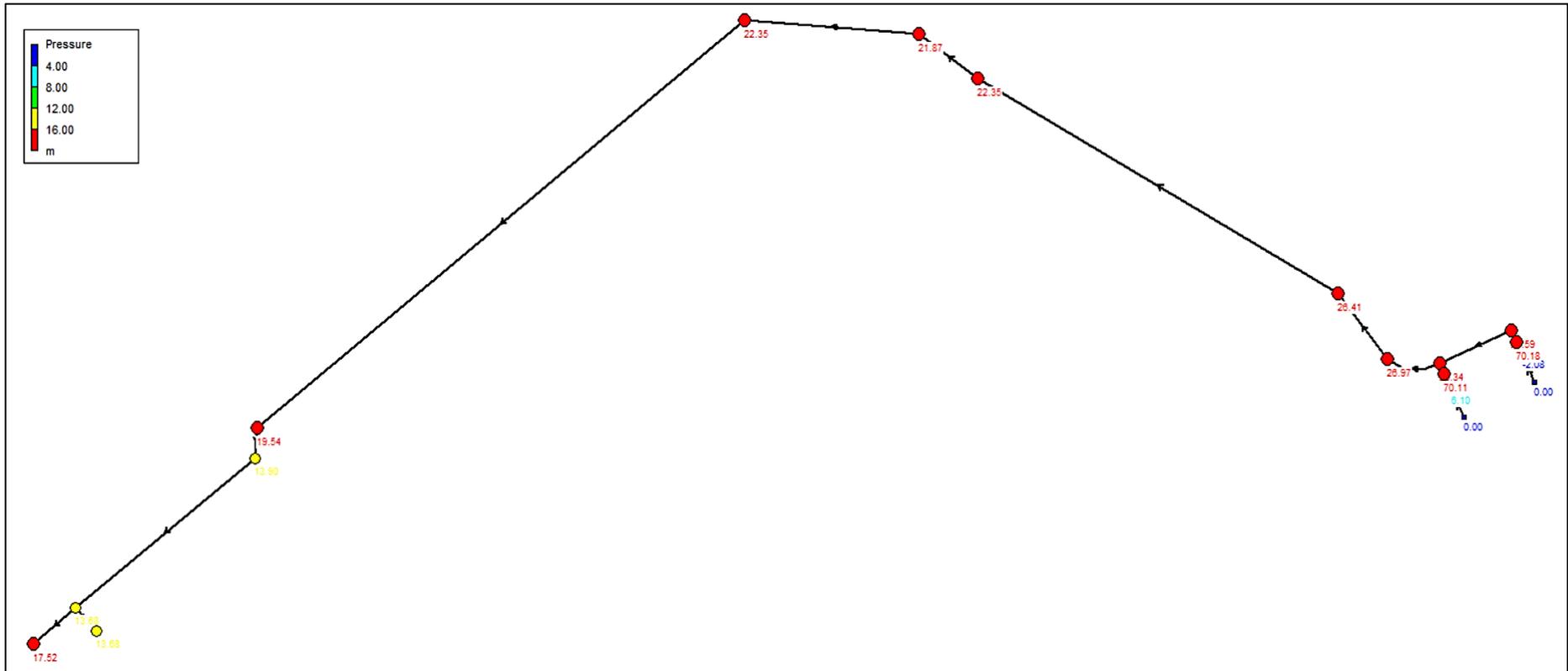
Anexo 3. Resultados de presiones en la línea de conducción, calibración por caudal de fugas.



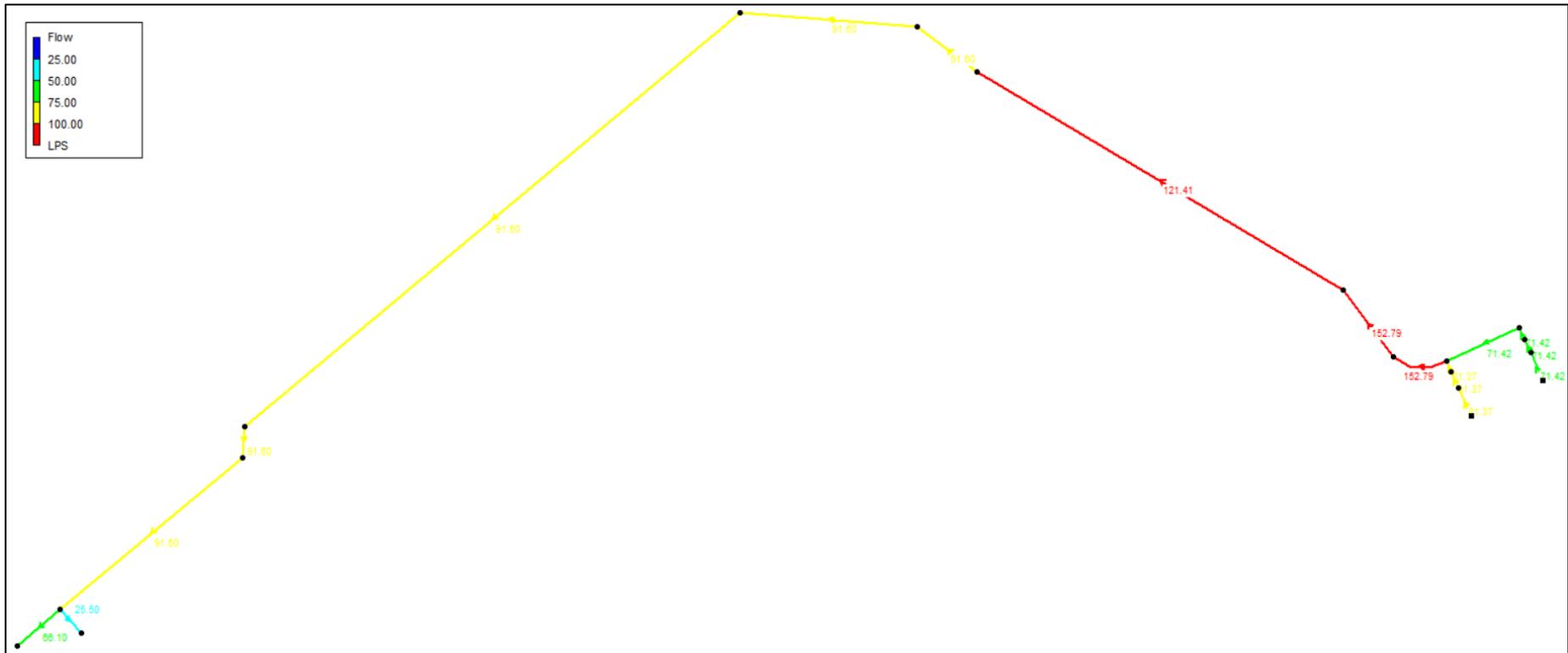
Anexo 4. Resultados de caudales en la línea de conducción, calibración por caudal de fugas.



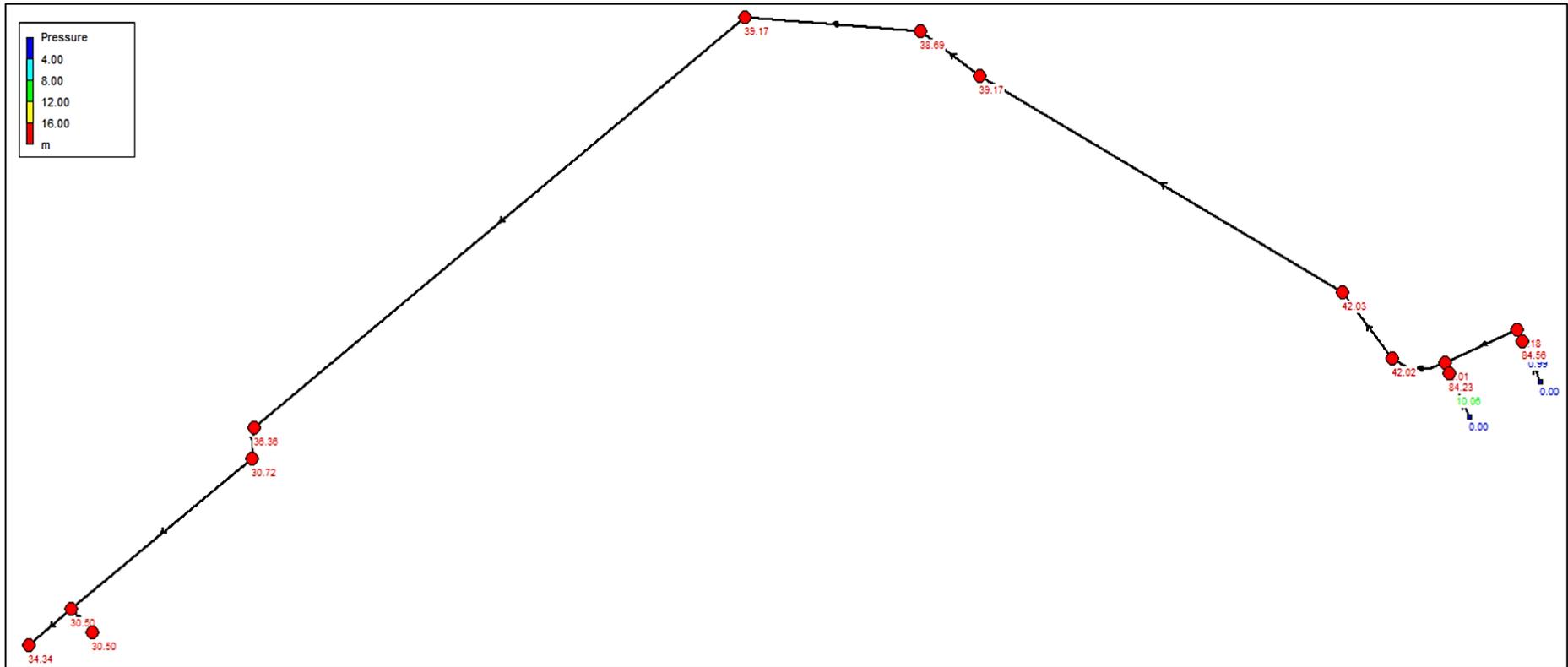
Anexo 5. Resultados de presiones en la línea de conducción, calibración por caudal de fugas y pérdidas de carga.



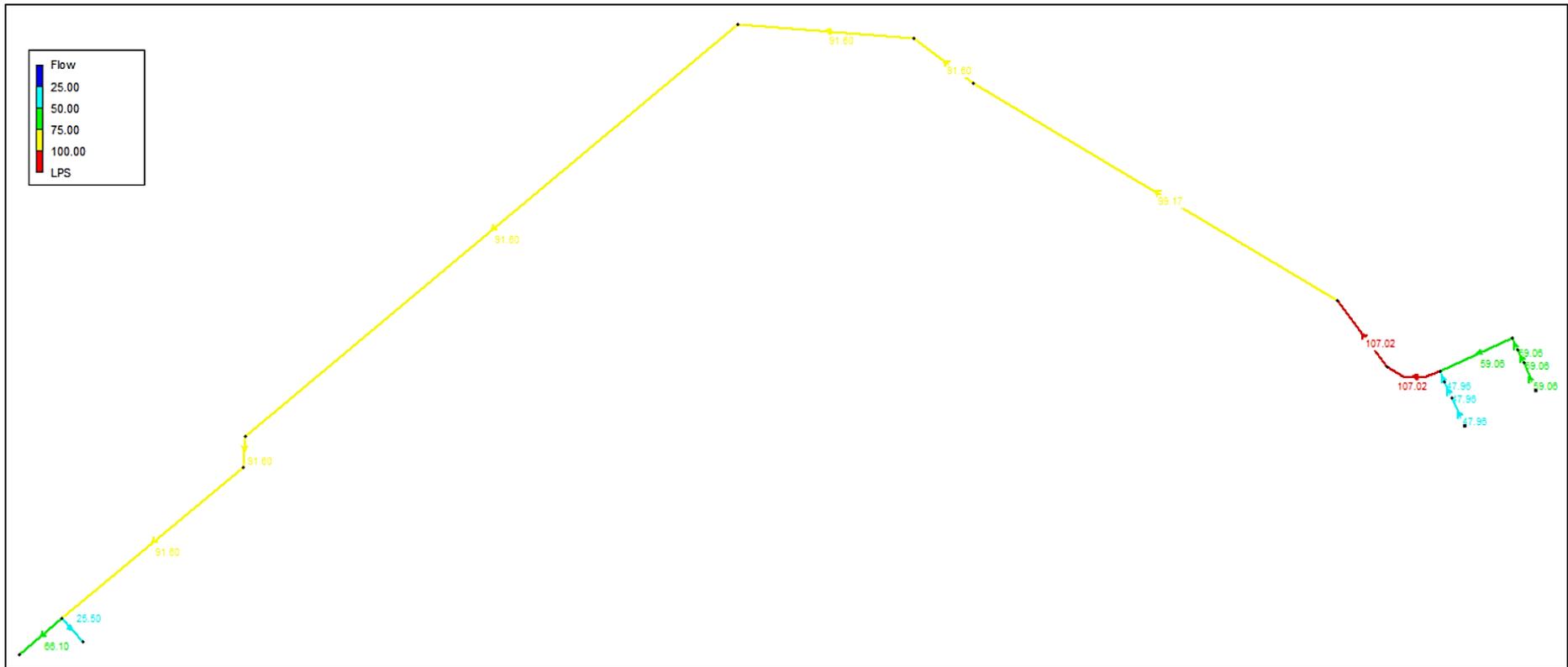
Anexo 6. Resultados de caudales en la línea de conducción, calibración por caudal de fugas y pérdidas de carga.



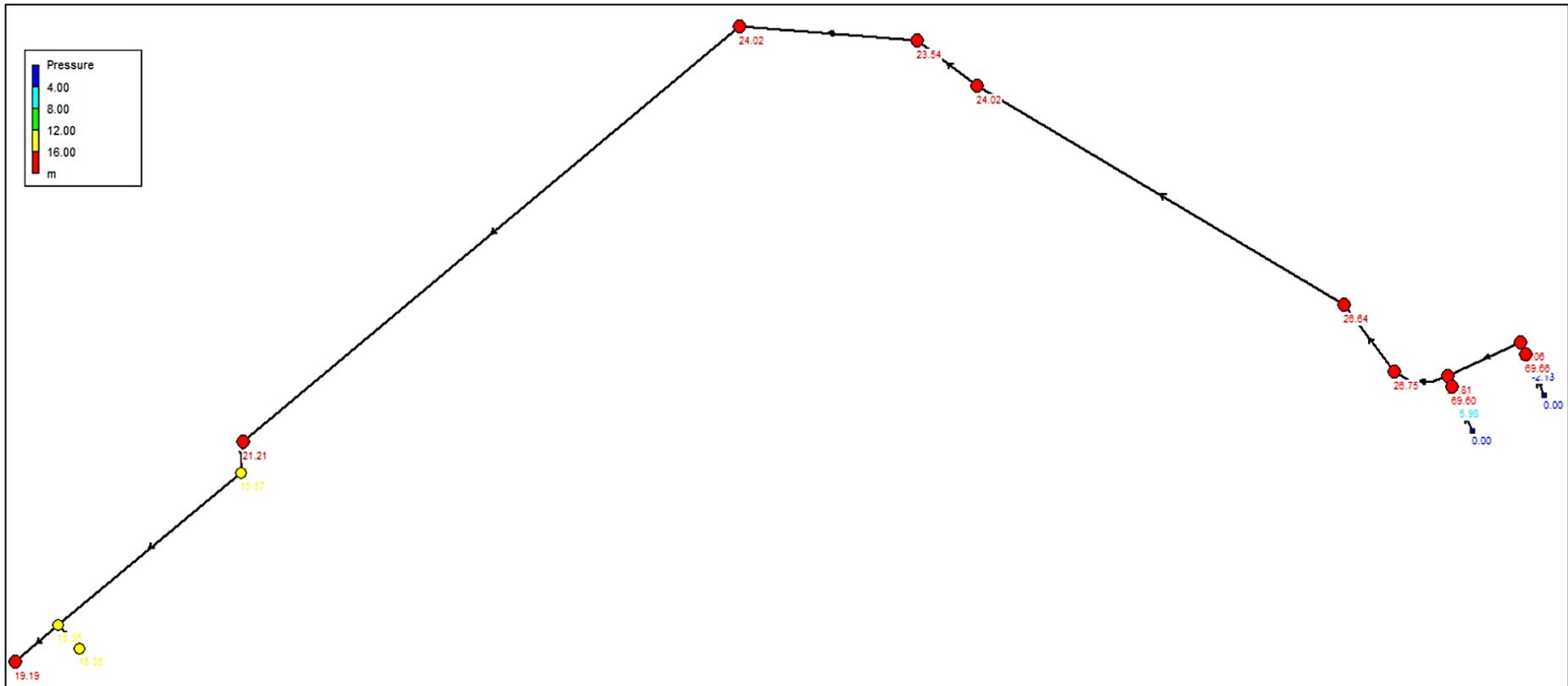
Anexo 7. Resultados de presiones en la línea de conducción, modelación alternativa 1.



Anexo 8. Resultados de caudales en la línea de conducción, modelación alternativa 1.



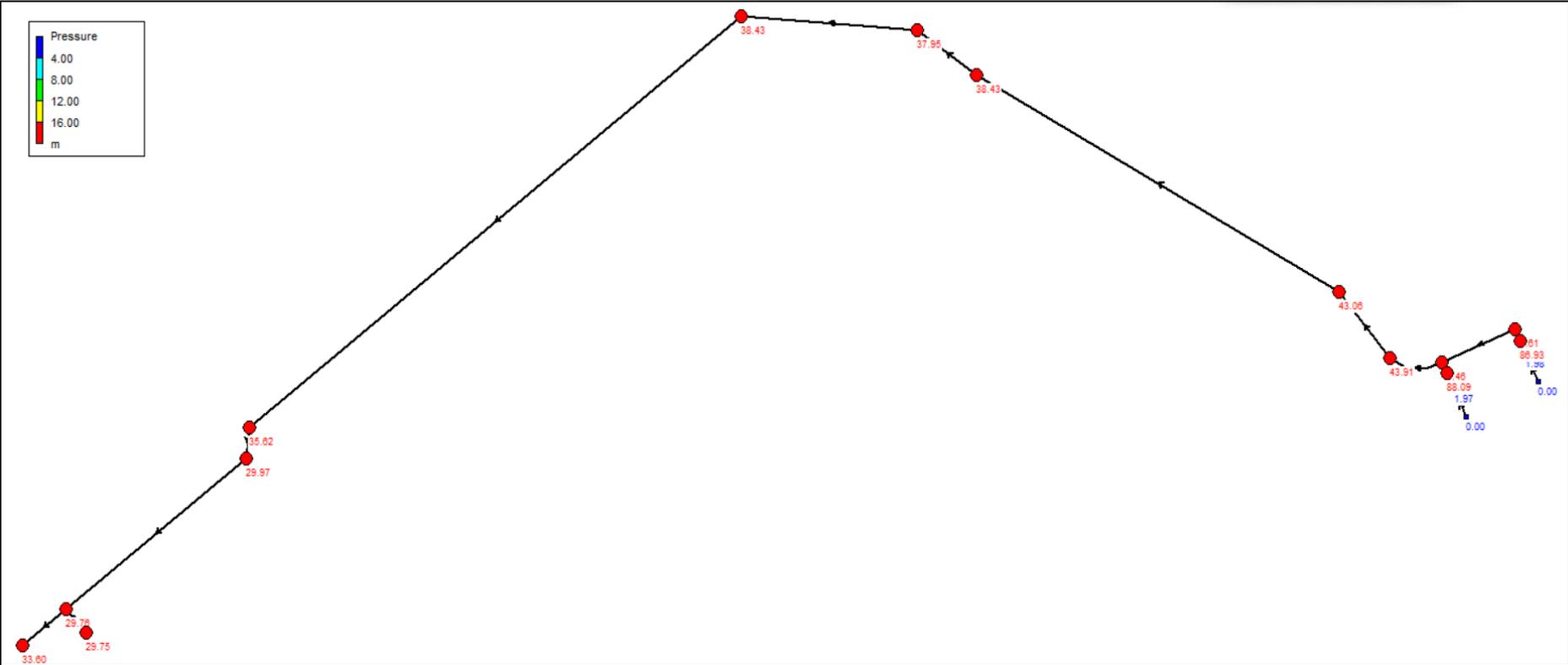
Anexo 9. Resultados de presiones en la línea de conducción, alternativa 2.



Anexo 10. Resultados de caudales en la línea de conducción, alternativa 2.



Anexo 11. Resultados de presiones en la línea de conducción, alternativa 3.



Anexo 12. Resultados de caudales en la línea de conducción, alternativa 3.



Anexo 13. Cotización de BOMBA CAPRARI 170M3-HR@90M 80 HP INOX 316SS.







Compañía

D:

Tel:

Cel:

Atte:

Pago: Condiciones

Asesor: HUGO ALTMAN

Cel:

E - mail:

Cotización N°: 2022-0026

Fecha: 18/8/2022

Agente:

HIVIMAR S.A.

México: Guayaquil - Ecuador Av. Juan Torres Briones Km.2, 100 y Agustín Pezuela Telf: (0051 4) 248-1100

Quito: Av. 10 de Agosto 4740 y Mariposa Telf: (0051 4) 231-8727

Cuenca: Avenida de Mendocino y Lángara Telf: (0051 7) 340-0443

Portoviejo: Pedro Gual y Córdova Telf: (0051 4) 243-0168

Monimay: Av. 11 de Agosto Calles 117 y 118 Telf: (0051 0) 260-7317

Contribuyente Especial: Resolución No. 8528 del 04.07.08

RUC: 086120180007

ISO: 9001:2015 por SGS

Cotización 2022-0026

Validez de la Oferta: 30 Días

Ítem	Descripción	Cantidad	P.Unitario	Descuento	P.Unitario c/ Descuento	P.Total	TIEMPO DE ENTREGA														
1	CAPRARI BOMBA SUMERGIDAS 170M3/HR@90MCA NPT 6" - EN CAST IRON	1	\$ 5,566.43	10%	\$ 5,009.79	\$ 5,009.79	12 - 14 SEMANAS														
	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 20%;"><u>Marca</u></td> <td>CAPRARI</td> </tr> <tr> <td><u>Material del Cuerpo</u></td> <td>INOX 316SS</td> </tr> <tr> <td><u>Material impulsor</u></td> <td>INOX 316SS</td> </tr> <tr> <td><u>TDH</u></td> <td>88.3 m</td> </tr> <tr> <td><u>Caudal</u></td> <td>170 m3/s</td> </tr> <tr> <td><u>Potencia</u></td> <td>59 KW (80Hp)</td> </tr> <tr> <td><u>Tipo de embarque</u></td> <td>MARITIMO</td> </tr> </table>	<u>Marca</u>	CAPRARI	<u>Material del Cuerpo</u>	INOX 316SS	<u>Material impulsor</u>	INOX 316SS	<u>TDH</u>	88.3 m	<u>Caudal</u>	170 m3/s	<u>Potencia</u>	59 KW (80Hp)	<u>Tipo de embarque</u>	MARITIMO						
<u>Marca</u>	CAPRARI																				
<u>Material del Cuerpo</u>	INOX 316SS																				
<u>Material impulsor</u>	INOX 316SS																				
<u>TDH</u>	88.3 m																				
<u>Caudal</u>	170 m3/s																				
<u>Potencia</u>	59 KW (80Hp)																				
<u>Tipo de embarque</u>	MARITIMO																				
2	CAPRARI MOTOR SUMERGIBLE DE 80HP TRIFASICO 460V + PT100	1	\$ 7,814.72	10%	\$ 7,033.25	\$ 7,033.25	12 - 14 SEMANAS														
	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 20%;"><u>Marca</u></td> <td>CAPRARI</td> </tr> <tr> <td><u>Tipo de embarque</u></td> <td>MARITIMO</td> </tr> </table>	<u>Marca</u>	CAPRARI	<u>Tipo de embarque</u>	MARITIMO																
<u>Marca</u>	CAPRARI																				
<u>Tipo de embarque</u>	MARITIMO																				

Subtotal	\$ 12,043.03
IVA (12%)	\$ 1,445.16
Total	\$ 13,488.20

Aclaraciones:

- Tiempo de entrega, lo detallado, Bodega Guayaquil
- Favor confirmar previamente para proceder con el traslado de los Materiales a nivel nacional
- Aplica Garantía de fábrica/ Respaldo, repuestos garantizados por Distribuidor en Ecuador HIVIMAR S.A.

Atentamente:

Ing. Daniel Mendez
 Jefe de línea - Equipos de bombeo
 dmmd@hivimar.com
 Cel: 096-784-7945

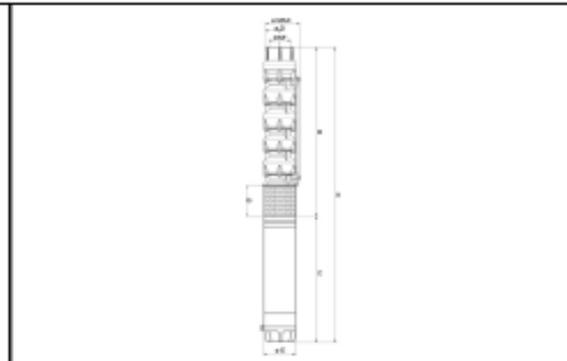
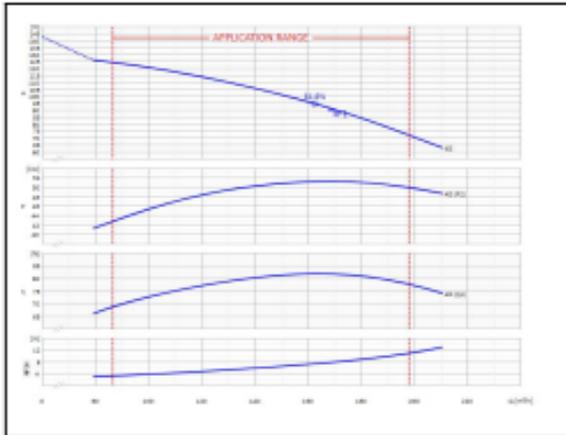
Anexo 14. Ficha de Datos Técnicos de BOMBA CAPRARI 170M3-HR@90M
80 HP INOX 316SS.



**TECHNICAL
DATA SHEET**



Customer:		Ref.:	
Item	Quantity	Required flow	170 m ³ /h
Type	SUBMERSIBLE ELECTRIC PUMP	Required head	90 m
		Model	EBPX135/4D+MACW880-SZ



Dimensions (mm)			
A	200.5	E	191
B	1010.5	F	65
C	1325	G	193.5
D	192	H max	203

OPERATING DATA - ISO 9906:2012 3B -				CONSTRUCTION CHARACTERISTICS			
Q (m ³ /h)	H (m)	P (kW)	η (%)	NPSH (m)	Delivery diameter	G5"	n.d.
					Max. overall diameter	203	mm
					Weight of electric pump	258	Kg
					No. Stages	4	
					Motor seal	Mechanical	
					Type of installation	Vertical	

OPERATING LIMITS				PUMP MATERIALS			
Pumped liquid	Water			Diffuser unit	Stainless steel		
Max. temp. of pumped liquid (*)	30	°C		Suction support	Stainless steel		
Maximum density	1	kg/dm ³		Impeller	Stainless steel		
Maximum viscosity	1	mm ² /s		Shaft	Stainless steel		
Maximum solid content	150	g/m ³		Coupling	Stainless steel		
Max. number of starts/hr	8			Shaft bearing bush	Stainless steel/rubber		
Minimum immersion depth	507.5	mm		Valve casing	Stainless steel		
OPERATING CHARACTERISTICS				Strainer	Stainless steel		
Service flow rate	170.15	m ³ /h		Impeller wear ring	Stainless steel/rubber		
Service head	90.16	m		MOTOR MATERIALS			
Qmin	Qmax	86.4	198	Shaft	Stainless steel		
H (Q=0)	Hmax (Qmin)	142.79	124.22	Upper bracket	Stainless steel		
Power consumption at duty point	51.17	kW		Rotor	Electrical steel		
Pump efficiency Overall efficiency	81.64	71.1	%	Stator	Electrical steel		
Max. pump efficiency (B.E.P.)	81.8			Stator shell	Stainless steel		
Sense of rotation (**)	Anticlockwise			Winding	Green wire		
Number of pumps installed	Operating	Stand-by		Lower bracket	Stainless steel		
	1	0		Mechanical seal	Silicon carbide/silicon carbide		

ELECTRIC MOTOR CHARACTERISTICS			
Nominal power	59	kW	
Rated frequency	60	Hz	
Rated voltage	460	V	
Rated current	100.9	A	
No. Poles	Nominal speed	2	3535
Insulation class	Protection class	n.d.	IP68
Certified motor for use with drinking water			

Notes:	(*) Speed of the water outside the jacket of the motor v=0.5 m/s
	(**) View from delivery port.
	In case of VSD operation, refer to Use and Maintenance Instructions of the electric pump.
OFFER No.	Pos.
Date 18/08/2022	



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **López Mena, Kevin Andrés** con C.C: # **093051503-6** autor del trabajo de titulación: **Evaluación hidráulica y optimización del funcionamiento de las estaciones de bombeo del subsistema de agua potable Chobo - recreo del cantón Duran** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 22 de septiembre de 2022

f. _____

Nombre: **López Mena, Kevin Andrés**

C.C: **0930515036**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Evaluación hidráulica y optimización del funcionamiento de las estaciones de bombeo del subsistema de agua potable Chobo - recreo del cantón Duran.		
AUTOR(ES)	López Mena, Kevin Andrés		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Camacho Monar, Mélida Alexandra, M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	22 de septiembre de 2022	No. DE PÁGINAS:	68
ÁREAS TEMÁTICAS:	Redes de distribución de agua potable, modelación hidráulica, estaciones de bombeo		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Modelos hidráulicos, estaciones de bombeo, optimización, Chobo, evaluación hidráulica, Epanet		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>En el presente trabajo se tratará de la evaluación hidráulica y optimización del funcionamiento de las estaciones de bombeo ya que en la actualidad una de las preocupaciones de las poblaciones es el abastecimiento de agua seguro, y a su vez que sea eficiente. Nos encontramos con la problemática del funcionamiento de las estaciones de bombeo que se encuentran en la Parroquia Chobo y uno de sus lugares de distribución es la zona de El Recreo del Cantón Duran, donde se detectó que el abastecimiento para estas zonas es ineficiente, lo que ocasiona también el deterioro de la calidad de la misma, esto causa en los usuarios un gran desconcierto ya que deben recurrir a otro tipo de abastecimiento de agua potable en este caso los tanques de agua potable y por ello se genera mala calidad de vida. Es importante solucionar esta problemática social que se ha generado y oportuno realizar el estudio de mi trabajo para fin de grado en el mejoramiento del modelo hidráulico existente y detectar las anomalías que forman el mal funcionamiento para así evitar pérdidas de agua en la red de abastecimiento.</p> <p>En este proyecto se presentarán soluciones pertinentes para el mejoramiento del abastecimiento, aportando nuevas ideas con técnicas y metodologías ya existentes en la actualidad realizando un mejoramiento en la calibración del modelo hidráulico y modelado de fugas. Además, se usará la herramienta de Epanet que nos ayudará a comprender las relaciones entre presión, caudales y fugas.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593996822056	E-mail: andreskevin92@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4-2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			