



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva,

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Los suscritos: JHONATAN CHAVARRO ALDANA, con C.C. No. 1082158024 y JULIAN DAVID GUZMÁN ALVIRA, con C.C. No. Autor(es) del trabajo de grado titulado DISEÑO HIDRÁULICO PARA LA CONDUCCIÓN DE AGUAS TERMALES DESDE LA FINCA “LAS JUNTAS” DE LA VEREDA SAN SEBASTIÁN HASTA LA FINCA “AVENIDA NUEVA” EN LA VEREDA VILLA LOSADA DEL MUNICIPIO DE LA PLATA-HUILA.

Presentado y aprobado en el año \_\_\_\_2019\_\_ como requisito para optar al título de:

INGENIERA\_AGRÍCOLA,

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores” , los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: Jhonatan Chavarro

EL AUTOR/ESTUDIANTE: EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: [Firma]



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** DISEÑO HIDRÁULICO PARA LA CONDUCCIÓN DE AGUAS TERMALES DESDE LA FINCA “LAS JUNTAS” DE LA VEREDA SAN SEBASTIÁN HASTA LA FINCA “AVENIDA NUEVA” EN LA VEREDA VILLA LOSADA DEL MUNICIPIO DE LA PLATA-HUILA

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Chavarro Aldana	Jhonatan
Guzmán Alvira	Julián David

**DIRECTOR:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Bedoya Cardoso	Marlio

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Agrícola

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Ingeniería Agrícola

**CIUDAD:** Neiva

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2019

**NÚMERO DE PÁGINAS:** 68

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas\_\_\_ Fotografías\_x\_ Grabaciones en discos\_\_\_ Ilustraciones en general\_x\_  
Grabados\_\_\_ Láminas\_\_\_ Litografías\_\_\_ Mapas \_\_x\_ Música impresa\_\_\_ Planos \_x\_  
Retratos\_\_\_ Sin ilustraciones\_\_\_ Tablas o Cuadros\_x\_



**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento: Epanet 2.0, AutoCAD

**MATERIAL ANEXO:** Planos AutoCAD; Simulación Epanet 2.0.

### **PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

#### **Español**

#### **Inglés**

- |                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| 1. _ Diseño hidráulico_    | _ Hydraulic design _ |
| 2. _ topografía_           | _ topography _       |
| 3. _ termal _              | _ thermal _          |
| 4. _ conducción_           | _ conduction_        |
| 5. _perdidas por fricción_ | _ friction losses_   |

### **RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos del proyecto denominado "Diseño Hidráulico para la conducción de aguas termales desde la finca "las Juntas" de la vereda San Sebastián hasta la finca "Avenida Nueva" en la vereda Villa Losada del municipio de La Plata". Debido al poco aprovechamiento de los recursos naturales que posee el municipio y la falta de estudios para la conducción de aguas termales se propuso realizar un diseño viable para la conducción del agua termal con fines recreativos; para esto se realizó la caracterización de la zona por medio del levantamiento topográfico para identificar la trayectoria de la tubería; en los cálculos hidráulicos de este diseño se utilizó la ecuación de Darcy-Weisbach y Blasius para relacionar la pérdida de carga hidráulica debido a la fricción a lo largo de la tubería. De igual manera se hicieron los cálculos para el diseño de la bocatoma y se determinó las pérdidas de temperatura en todo el trayecto. Los resultados de la trayectoria muestran una diferencia de alturas de 145,47 metros y 3773,07 metros de longitud; se transportará un caudal de 1 l/s de agua a 39 °C; la tubería recomendada para el transporte de agua termal es la de Polipropileno Random – PPR de 1 1/2 pulgadas de diámetro por cumplir con las especificaciones requeridas en durabilidad y en aislamiento térmico. Ya que cuenta con un coeficiente de conductividad térmica de 0,24 w/m.K y por ser un producto nacional se considera la mejor opción.



**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

In the present work shows the results of the project called "hydraulic design for the conduction of hot springs from the farm "Las Juntas" in the village of San Sebastian to the farm "Avenida Nueva" in the village of Villa Losada of the municipality La Plata'. Due to little use of natural resources that has the municipality and the lack of studies for the conduction of hot springs was proposed to produce a viable design for thermal water recreational driving; for this is it made the characterization of the zone through the topographic survey to identify the path of the pipeline; hydraulic calculations of this design was used the Darcy-Weisbach and Blasius equation to relate the loss of hydraulic load due to friction along the pipe. Similarly made the calculations for the design of the intake and temperature all the way losses are determined. The results of the career show a difference in heights of 145,47 meters and 3773,07 meters in length; a flow rate of 1 l/s of water will be transported to 39 ° C; tubing recommended for the transport of thermal water is Polipropileno Random - PPR's 1 1/2-inch diameter to meet the specifications required in durability and insulation. Since it has a coefficient of thermal conductivity of 0.24 w/MK and be a national product is considered the best option.

**APROBACION DE TRABAJO**

Nombre Director de tesis:

*Martio Bedoya Cordozo*

Firma:

*[Handwritten signature]*

Nombre Jurado:

*[Handwritten signature]* John Jairo Arevalo H.

Firma:

Nombre Jurado: Jaime Izquierdo Davista

Firma:

*[Handwritten signature]*

“DISEÑO HIDRÁULICO PARA LA CONDUCCIÓN DE AGUAS TERMALES DESDE LA  
FINCA “LAS JUNTAS” DE LA VEREDA SAN SEBASTIÁN HASTA LA FINCA  
“AVENIDA NUEVA” EN LA VEREDA VILLA LOSADA DEL MUNICIPIO DE LA PLATA-  
HUILA.”

Autores.

JHONATAN CHAVARRO ALDANA

JULIÁN DAVID GUZMÁN ALVIRA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
LA PLATA-HUILA

2019

“DISEÑO HIDRÁULICO PARA LA CONDUCCIÓN DE AGUAS TERMALES DESDE LA  
FINCA “LAS JUNTAS” DE LA VEREDA SAN SEBASTIÁN HASTA LA FINCA  
“AVENIDA NUEVA” EN LA VEREDA VILLA LOSADA DEL MUNICIPIO DE LA PLATA-  
HUILA.”

Autores.

JHONATAN CHAVARRO ALDANA

JULIÁN DAVID GUZMÁN ALVIRA

Proyecto presentado a la facultad de Ingeniería como requisito parcial para optar al título de  
Ingeniero Agrícola

Director

Dr. MARLIO BEDOYA CARDOSO

Director de tesis

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA  
LA PLATA-HUILA

2019

**Nota de Aceptación** .

---

---

---

---

---

---

**Jurado** .

---

**Jurado** .

---

**Director** .

## **Dedicatoria**

**JHONATAN CHAVARRO**

Doy gracias a Dios todo poderoso que por su gracia y voluntad me brindó la oportunidad de alcanzar un nuevo objetivo en mi vida, ser un Ingeniero Agrícola. A mis padres Gerardo y María Yanit por sus consejos y demostración de amor en tan grande esfuerzo, sacrificio, esmero, porque nunca me ha faltado lo necesario para estar bien. A mis hermanos por su gran apoyo y afecto. A ustedes que son mi familia y mi gran motor, muchas gracias y me siento muy orgulloso de contar con personas tan valiosas.

A todos mis compañeros de carrera, con los que compartimos alegrías, tristezas y grandes experiencias que vivimos al ser estudiantes universitarios, en especial a Miguel, Alejandro, Sergio, Anderson y Larry. Gracias por todo y siempre estarán en mi corazón.

**JULIAN DAVID GUZMAN**

Gracias a Dios, por darme la oportunidad de vivir esta experiencia al lado de personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio. Y especialmente a mi madre María Doris, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y por qué siempre me apoyo, gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti. A mi hermano Camilo Andrés, por estar conmigo y apoyarme siempre.

## **Agradecimientos**

Los autores expresan sus agradecimientos a todas las personas e instituciones que de una u otra manera contribuyeron en la formación y desarrollo del proyecto de grado.

A Marlio Bedoya Cardoso, Dr. En Ciencias en Economía Agrícola por su orientación durante el transcurso de la carrera y el desarrollo del proyecto.

A las ingenieras Yaneth Liliana Ruiz y Damaris Perdomo por su gran labor y servicios dentro la Universidad Surcolombiana sede La Plata.

A las estudiantes en formación Diana Katherine Quichoya, Diana Suarez y Leidy Daniela Paya por su gran colaboración, ayuda y compañía durante el desarrollo del proyecto.

Al empresario Jesús Losada por confiar en la universidad y permitir desarrollar el proyecto dentro de su propiedad.

A la secretaria de la sede la Plata Martha Cecilia Ordoñez Cabrera y a la Coordinadora de la sede Angélica Cruz Rojas por su amabilidad, disponibilidad y atención a la hora de necesitar sus servicios.

## Tabla de contenido

<b>1. Introducción.....</b>	<b>10</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Objetivos .....</b>	<b>11</b>
1.2.1.    Objetivo general. ....	11
1.2.2.    Objetivos específicos.....	11
<b>2. Marco teórico .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. Levantamiento topográfico.....</b>	<b>12</b>
2.1.1.    Estación total. ....	12
2.1.2.    Sistema de posicionamiento global (GPS). ....	13
2.1.2.1.    Componentes del sistema GPS.....	13
2.1.2.2.    Fuentes de ERROR. ....	13
<b>2.2. Métodos de medición de agua .....</b>	<b>14</b>
2.2.1.    Métodos directos. ....	14
2.2.2.    Métodos indirectos. ....	15
<b>2.3. Captación de agua .....</b>	<b>16</b>
2.3.1.    Criterios de localización para captaciones en ríos y manantiales. ....	16
2.3.2.    Tipos de bocatoma.....	17
2.3.2.1.    Captación lateral. ....	17
2.3.2.2.    Captación sumergida tipo dique-toma.....	18
2.3.2.3.    Bocatoma sumergida (caudales mayores). ....	18
2.3.2.4.    Captación por lecho filtrante. ....	18
<b>2.4. Conducciones .....</b>	<b>19</b>
2.4.1.    Conductos cerrados a presión. ....	19
2.4.2.    Válvulas.....	20
2.4.2.1.    Válvulas todo o nada:.....	20
2.4.2.2.    Válvulas de regulación.....	20
<b>2.5. Programa EPANET .....</b>	<b>21</b>
<b>2.6. Tubería para la conducción de agua termal o con temperatura.....</b>	<b>22</b>
2.6.1.    Tuberías multicapa. ....	22
2.6.1.1.    Tipos de tubería multicapa. ....	23
2.6.2.    Tubería de polipropileno Random – PPR.....	25
2.6.2.1.    Aspectos técnicos. ....	25
2.6.2.2.    Características. ....	25
2.6.2.3.    Campos de aplicación. ....	26
2.6.3.    Tubería fibra de vidrio.....	26
2.6.3.1.    Ventajas de las tuberías de GFK. ....	26
2.6.3.2.    Clasificación general y propiedades de las tuberías de fibra de vidrio.....	26
2.6.3.3.    Ficha técnica FIBERGLASS.....	27
2.6.4.    Tubería CPVC. ....	28
2.6.4.1.    Ventajas.....	29

2.7.	Transferencia de calor .....	<b>29</b>
2.7.1.	Mecanismos de transferencia de calor.....	29
2.7.1.1.	Conducción.....	29
2.7.1.2.	Convección.....	30
2.7.1.3.	Radiación.....	30
2.7.2.	Conducción de calor en cilindros.....	31
2.7.3.	Flujos laminar y turbulento en tubos.....	31
2.7.4.	Numero de Reynolds.....	32
2.7.5.	Numero de Nusselt.....	32
<b>3.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1.</b>	<b>Reconocimiento de terreno.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.</b>	<b>Aforo.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.</b>	<b>Levantamiento topográfico.....</b>	<b>33</b>
<b>3.4.</b>	<b>Diseño de la obra de captación del agua .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5.</b>	<b>Selección de la tubería.....</b>	<b>34</b>
<b>3.6.</b>	<b>Determinación perdida de temperatura.....</b>	<b>34</b>
<b>3.7.</b>	<b>Conducción de agua .....</b>	<b>34</b>
<b>3.8.</b>	<b>Presupuesto .....</b>	<b>34</b>
<b>4.</b>	<b>Resultados y discusión.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.</b>	<b>Localización del proyecto .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2.</b>	<b>Aforo.....</b>	<b>36</b>
<b>4.3.</b>	<b>Levantamiento topográfico.....</b>	<b>38</b>
<b>4.4.</b>	<b>Diseño bocatoma.....</b>	<b>39</b>
<b>4.5.</b>	<b>Selección de la tubería .....</b>	<b>43</b>
<b>4.6.</b>	<b>Cálculo pérdidas de temperatura .....</b>	<b>44</b>
4.6.1.	Calculo coeficiente de convección interno (h1).....	45
4.6.2.	Calculo coeficiente de convección externo (h2).....	47
<b>4.7.</b>	<b>Diseño hidráulico de la tubería.....</b>	<b>50</b>
4.7.1.	Empleando EPANET.....	50
4.7.2.	Comportamiento hidráulico del diseño, empleando hojas de cálculo.....	52
<b>4.8</b>	<b>Presupuesto.....</b>	<b>61</b>
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>63</b>
<b>6.</b>	<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>64</b>
<b>7.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>67</b>

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Propiedades Físicas y Mecánicas de tubería Multicapa.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2. Ficha técnica FIBERGLASS.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3. Características del material de la tubería de Fibra de Vidrio. ....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4. Características de la tubería de Fibra de Vidrio. ....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 5. Resultados de los datos obtenidos en la medición del caudal. ....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 6. Comparación de los diferentes tipos de tubería. ....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7. Datos del diseño hidráulico de la conducción de agua termal. ....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 8. Presupuesto. ....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 9. Imágenes fotográficas del desarrollo del proyecto. ....</i>	<i>67</i>

## Índice de figuras

<i>Figura 1. Vertederos de pared delgada. Fuente: (Aparicio, 1992).</i>	16
<i>Figura 2. Dirección de la transferencia de calor en una tubería. Fuente: (Cengel, 2007).</i>	31
<i>Figura 3. Termas de San Sebastián.</i>	35
<i>Figura 4. Localización del área del proyecto.</i>	36
<i>Figura 5. Tubos utilizados para la medición del caudal.</i>	37
<i>Figura 6. Trayectoria de la tubería en el programa ArcGIS.</i>	38
<i>Figura 7. Sección transversal de la fuente de abastecimiento.</i>	39
<i>Figura 8. Sección transversal (dimensiones finales del vertedero).</i>	41
<i>Figura 9. Detalle rejilla y corona.</i>	43
<i>Figura 10. Modelo hidráulico de EPANET 2.0. (ANEXOS).</i>	52
<i>Figura 11. Perfil longitudinal y líneas de energía. (Tramo A).</i>	57
<i>Figura 12. Perfil longitudinal y líneas de energía. (Tramo B).</i>	58
<i>Figura 13. Perfil longitudinal y líneas de energía. (Tramo C).</i>	59

## **1. Introducción**

Según (Carreño, 1992), Desde el tiempo de los romanos se vienen haciendo uso de las aguas termales, no solo para fines medicinales sino también para usos recreativos; balnearios, baños, entre otros. En la actualidad, en muchas partes del mundo, como en Goiás - Brasil, Michoacán e Hidalgo en México, se viene haciendo uso de este recurso natural con gran acogida para el sector turístico, trayendo gran desarrollo económico para la sociedad (Lopes, 2005).

Las aguas termales poseen grandes cantidades de sedimentos con diversidad microbiana y funcional, que ofrece características terapéuticas y medicinales a los bañistas de aguas volcánicas (R. Padilla, Morales, & Ríos, 2017), los principales aportes benéficos resultan gracias a los contenidos de silicatos, sulfatos, carbonatos, halogenuros, sulfuros y sulfonales, etc. según la roca donde se encuentre el fluido. (San Martín & Armijo, 1990).

Gracias a sus muchos volcanes, Colombia es una fuente natural de estas aguas termales, se pueden encontrar a lo largo y ancho del país. Algunas de las más representativas son: Santa Rosa de Cabal-Risaralda, termales Santa Mónica en Choachí-Cundinamarca, el parque termal en Paipa-Boyaca y en el Huila, las termales de Rivera. Sin embargo, en el municipio de La Plata Huila, a 24 kilómetros de la cabecera municipal, se encuentra una fuente de abastecimiento de aguas termales, cuya temperatura es de 39°C, cuenta con un caudal de 2 litros por segundo y no se aprovechan con fines recreativos, turísticos ni terapéuticos.

Con el fin de aprovechar este recurso natural para fines recreativos y terapéuticos, buscando mejorar el nivel de turismo en la región, según la agenda interna del plan regional de competitividad del Huila (AIPC, 2015). Se realizó un diseño hidráulico para la conducción de agua termal, donde se analizarán los diferentes tipos de tubería que permitirán conservar la temperatura según sus características técnicas.

Para esto, fue necesario realizar el levantamiento topográfico de la zona para el diseño de las obras hidráulicas que permitan la captación y conducción de agua termal, mediante tubería diseñada para la conservación de la temperatura, desde la fuente de abastecimiento en la finca La Junta de la vereda San Sebastián hasta el sitio de recreación a un costado de la carretera nacional.

### **1.1.Planteamiento del problema**

El municipio de La Plata, localizado al suroccidente del departamento del Huila participa activamente en el desarrollo de las apuestas productivas que impulsen el desarrollo en la región, pero existen muchos campos que aún no han sido explorados como lo es el sector Turístico, esto es debido a los escasos estudios topográficos de la zona y los pocos estudios y diseños hidráulicos para el manejo de aguas termales. Esto ha generado desinterés de la administración por incentivar el turismo recreacional, creando poca percepción de los beneficios ofrecidos al departamento con la oferta turística termal, a pesar de que el municipio cuenta con el recurso natural.

El gran inconveniente que presenta el municipio es el poco aprovechamiento a los recursos naturales que posee, además de que cuentan con pocas herramientas para la conducción de aguas termales; de acuerdo con lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación: **¿Es posible realizar un diseño hidráulico para la conducción de aguas termales en la vereda San Sebastián hasta un sitio más accesible con fines recreacionales en la vereda Villa Losada del municipio de la Plata departamento del Huila?**

## **1.2.Objetivos**

### 1.2.1. Objetivo general.

- Diseñar un sistema hidráulico para la conducción de aguas termales desde la finca “las juntas” de la vereda San Sebastián hasta la finca “Avenida Nueva” en la vereda Villa Losada del Municipio de la Plata-Huila.

### 1.2.2. Objetivos específicos.

- Realizar el levantamiento topográfico desde la finca “las juntas” de la vereda San Sebastián hasta la finca “Avenida Nueva” en la vereda Villa Losada del Municipio de la Plata-Huila.
- Realizar el diseño hidráulico de la obra de captación de aguas termales.
- Generar estudios y diseños hidráulicos para el manejo de aguas termales.
- Simular el comportamiento hidráulico del sistema de conducción de agua empleando la herramienta EPANET.
- Elaborar el presupuesto del proyecto.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Levantamiento topográfico

La topografía se define como la “ciencia que trata de los principios y métodos empleados para determinar las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre, por medio de medidas, y usando los tres elementos del espacio. Estos elementos pueden ser: dos distancias y una elevación, o una distancia, una dirección y una elevación” (García, 1994). Esta define la posición y las formas circunstanciales del suelo; es decir, estudia en detalle la superficie terrestre y los procedimientos por los cuales se pueden representar, todos los accidentes que en ella existen, sean naturales o debidos a la mano del hombre. El medio usual de expresión es el dibujo (García, 1994).

La topografía tiene un campo de aplicación extenso, lo que la hace sumamente necesaria. Se utiliza para: trabajos de ingeniería arquitectura y construcción en general, antes, durante y después de todos los proyectos. Establecer límites, áreas, accidentes, morfología y objetos de un terreno y para establecer fronteras y carta geográfica de un país o región. (Pérez, 2010). También para la localización, proyecto, trazo y construcción de vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, canales, líneas de transmisión, acueductos, (García, 1994).

Según las operaciones que se ejecutan para representar el terreno, la topografía se divide en tres partes:

- **PLANIMETRIA:** Estudia los instrumentos y métodos para proyectar sobre una superficie plana horizontal, la exacta posición de los puntos más importantes del terreno y construir de esa manera una figura similar al mismo.
- **ALTIMETRIA:** determina las alturas de los diferentes puntos del terreno con respecto a una superficie de referencia; generalmente correspondiente al nivel medio del mar.
- **AGRIMESURA:** comprende los procedimientos empleados para medir la superficie de los terrenos y para fraccionarlos.

#### 2.1.1. Estación total.

“Es un instrumento que reúne en una sola unidad, tres componentes básicos, un teodolito electrónico digital, un distanciómetro electrónico y un microprocesador o computador” (J. Padilla, 2004). El instrumento una vez estacionado, puede medir automáticamente los ángulos horizontal, vertical y la distancia inclinada; los valores son presentados inmediatamente a través de una pantalla de cristal líquido y el microprocesador de manera simultánea los cálculos de distancia horizontal y desnivel (J. Padilla, 2004).

El mismo autor menciona que si las coordenadas del vértice ocupado y el azimut de la línea de referencia son introducidos al sistema, las coordenadas del punto adelante son inmediatamente calculadas, se presentan en pantalla y pueden ser almacenadas, junto con los valores angulares y de distancia, ya sea en la memoria interna del instrumento, a una tarjeta de memoria o a una colectora externa(J. Padilla, 2004)(J. Padilla, 2004).

La estación ya instalada, emite una señal que será reflejada por el prisma y devuelta a la fuente emisora, registrando de este modo el tiempo transcurrido, a partir del cual, calculara la distancia, coordenadas, ángulos, etc. El programa se encargara de realizar los cálculos necesarios para poder visualizar directamente los datos esperados. Todos los datos quedaran almacenados y listos para su transferencia y procesamiento posterior (Solari & Rizzardi, 2010).

Entre las funciones que realiza una estación total, puede mencionarse; obtención de promedios de mediciones múltiples angulares y de distancia, corrección electrónica por constantes de prismas, presión atmosférica y temperatura, correcciones por curvatura y refracción terrestre, reducción de la distancia inclinada a sus componentes horizontal y vertical, así como el cálculo de coordenadas de los puntos levantados (Pachas, 2009). Según (Hernandez, 2011) una estación total, no sólo sirve para realizar un levantamiento topográfico, sino también para efectuar “replanteo”, el cual se utiliza para trazar sobre el terreno, el diseño de una obra ya estudiada y proyectada.

### 2.1.2. Sistema de posicionamiento global (GPS).

Se trata de un sistema que permite calcular las coordenadas de cualquier punto de la superficie terrestre a partir de la recepción de señales emitidas desde una constelación de satélites en órbita. Básicamente su principal funcionalidad es que permite al usuario conocer, mediante un receptor, su posición geográfica en cualquier parte del planeta (IGAC, 2007)

#### 2.1.2.1. Componentes del sistema GPS.

El fundamento del sistema GPS consiste en la recepción de señales de radio de mínimo 4 satélites de 24 que existen en órbita, de los cuales se conoce de forma muy exacta su posición orbital con respecto a la tierra; cada satélite envía constantemente una señal de radio con información precisa de la hora en que se emite. Los receptores (GPS en tierra) analizan dicha señal y calculan la diferencia de tiempo desde que se emitió hasta que se recibe. La velocidad de la radio en el vacío es la misma que la luz, y se puede estimar aproximadamente la velocidad en la atmosfera, por lo que los receptores GPS pueden calcular la distancia al satélite con bastante precisión. Conociendo la velocidad de los satélites, la velocidad de propagación de sus señales (velocidad de la luz) y el tiempo empleado en recorrer el camino hasta el usuario, por triangulación se puede establecer la posición en términos absolutos del receptor (IGAC, 2007).

#### 2.1.2.2. Fuentes de ERROR.

Un receptor GPS requiere el instante actual, posición del satélite y retraso respecto la emisión de la señal para el cálculo de su posición. Para que sea preciso hay que tener en cuenta las diferentes fuentes de error que pueden afectar a la señal en su recorrido del satélite al receptor (Giménez & Ros, 2009). alguna de ellas es:

- Errores debido a la atmosfera.

- Errores en el reloj GPS.
- Interferencia por la recepción de las señales (multipath effect).
- Errores de orbitales, donde los datos de la órbita del satélite no son completamente precisos.
- Geometría de los satélites visibles.

## 2.2. Métodos de medición de agua

Los métodos usados para la medición del agua se agrupan en dos categorías (Perez, 2010):

- Métodos directos.
- Métodos indirectos.

### 2.2.1. Métodos directos.

Método volumétrico: Se mide el volumen colectado (V) y se registra el tiempo de llenado (t), se necesita un recipiente graduado y un cronometro digital. Es aplicable en la medición de pequeños caudales por ejemplo en el aforo de: grifos caseros, goteros, micro aspersores, sifones de riego y tuberías múlti-compuerta (Morales, 2014). Para determinar el caudal empleando este procedimiento se emplea la siguiente ecuación (1).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Donde:

Q: caudal aforado. (l/s)

V: volumen colectado. (l)

t: tiempo llenado. (s)

Método de área-velocidad: este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal, calculándose a partir de la ecuación de continuidad (2): (FAO, 2017):

$$Q = A * v \quad (2)$$

Dónde:

Q: caudal. ( $\frac{m^3}{seg}$ )

V: velocidad. ( $\frac{m}{seg}$ )

A: área. (m<sup>2</sup>)

Una forma sencilla de calcular la velocidad, consiste en medir el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer, corriente abajo, una distancia conocida (FAO, 2017). Otro método consiste en verter en la corriente una cantidad de colorante muy intenso y medir el tiempo en que recorre aguas abajo una distancia conocida. El colorante debe añadirse rápidamente con un corte neto para que se desplace como una nube colorante. Se mide el tiempo que tarda el primer colorante y el último en llegar al punto de medición aguas abajo, y se utiliza la media de los dos tiempos para calcular la velocidad media (FAO, 2017).

Otra forma más exacta de medir la velocidad es utilizando un molinete. “Se pueden encontrar de dos tipos: el de taza cónica que gira sobre un eje vertical y el de tipo hélice, que gira sobre un eje horizontal. En ambos casos la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad de la corriente y cada uno presenta una expresión matemática con la cual se establece la velocidad que lleva el flujo, teniendo en cuenta las revoluciones alcanzadas en un intervalo de tiempo” (FAO, 2017).

Como la velocidad del flujo de una corriente en una sección transversal no es uniforme, no solo se debe medir en un solo punto, sino que es necesario dividir la sección transversal del cauce en varias subsecciones llamadas “dovelas”, y luego promediarlas para calcular el flujo total. El molinete se debe colocar a una profundidad calculada, que depende del tamaño de la sección. (Aparicio, 1992)

#### 2.2.2. Métodos indirectos.

Método de estructuras hidráulicas: el principio de funcionamiento de todas las estructuras hidráulicas es establecer una sección de control, donde a partir de la profundidad se pueda estimar el caudal. Las estructuras hidráulicas más comunes para este tipo de medidas son: vertederos, canaletas y compuertas (Perez, 2010): los vertederos de pared delgada recomendables para realizar aforos son el triangular, con ángulo de 90° para gastos pequeños (de 0 a 100 l/s) y el rectangular para gastos mayores (de 100 a 1000 l/s) (Aparicio, 1992).

Según (Aparicio, 1992), si se usa un vertedor rectangular con las especificaciones mencionadas en la figura 1a el gasto se calcula con la ecuación (3) así:

$$Q = 1.9LH^{3/2} \quad (3)$$

Y si se usa un vertedero triangular con las especificaciones de la figura 1b, el gasto se presenta en la ecuación (4):

$$Q = 1.49H^{2.48} \quad (4)$$

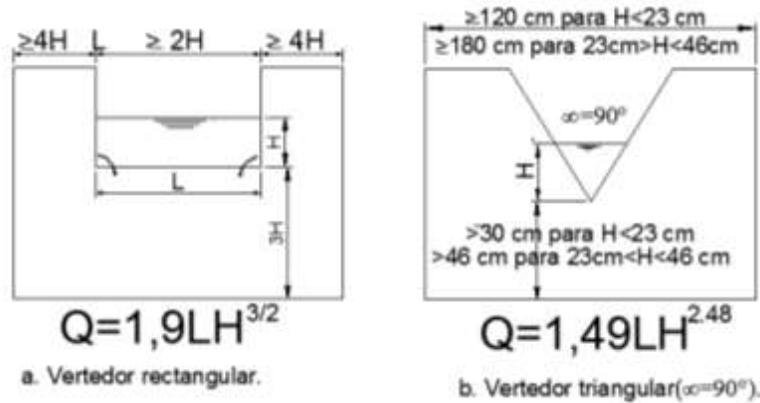


Figura 1. Vertedores de pared delgada. Fuente: (Aparicio, 1992)

### 2.3. Captación de agua

“Se conocen con el nombre de obras de captación las estructuras que se colocan directamente sobre las fuentes superficiales o subterráneas que se han seleccionado como económicamente utilizables para surtir una red de acueducto o para generar energía y desarrollar sistemas de riego, entre otros fines” (Corcho & Duque, 1993). Las fuentes superficiales pueden presentarse bajo la forma de corrientes con desplazamientos continuos o bien como vasos o represas de una definida extensión. Entre las primeras se encuentran los ríos, vertientes o manantiales y entre las segundas, los lagos y embalses.

#### 2.3.1. Criterios de localización para captaciones en ríos y manantiales.

Según Corcho & Duque, (1993). Con el fin de obtener un comportamiento satisfactorio como fuente de agua, un río debe cumplir las siguientes condiciones:

- El caudal del río o manantial debe ser bastante mayor que el caudal de diseño y la profundidad del río no debe ser menor de un cierto valor mínimo.
- Debe presentar un cauce estable y tener firmeza en sus orillas, con el fin de que no existan derrumbes, sedimentos o erosiones que puedan inferir en el comportamiento óptimo de la estructura de captación.
- Se debe prever una carga suficiente para mover el agua hasta el sitio de las bombas; o bien que se produzca el flujo por gravedad y el gasto estimado en el diseño.
- Es sumamente difícil impedir la entrada de los sedimentos a la estructura. Al tomar agua lateralmente en un río, se desarrolla una activa circulación trasversal que genera un arrastre de sedimentos de gran magnitud y fuera de proporción con el caudal captado.
- Cuando se trata de manantiales y quebradas en general es suficiente interponer una pequeña presa denominada toma-dique provista de drenaje, rebose y bocatoma. En este caso, la bocatoma correspondiente debe estar a una cierta altura sobre el fondo del dique para evitar la entrada de arenas y debe estar cubierta por una rejilla protectora. El drenaje de la toma-

dique debe ser capaz de permitir la descarga periódica de los sólidos sedimentados en la represa. El reboce debe ser capaz de dejar pasar todo el gasto en exceso del estipulado para el abastecimiento.

- Cuando el manantial producido por afloraciones acuíferas se desplaza en un lecho más o menos pequeño, cualquier tipo de caja de recepción interpuesta en ese lecho puede servir como obra de captación.

Independientemente del tipo de aprovechamiento que se va a dar al caudal captado, se debe tener en cuenta que la captación se haga lo más económicamente posible y localizando la estructura de captación lo más cercana que se pueda a la estructura de aprovechamiento.

### 2.3.2. Tipos de bocatoma.

Según (Materon, 1997) dependiendo de la forma de captación, las obras pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a. Captaciones laterales.
- b. Captaciones de fondo o sumergidas.
- c. Captación por lecho filtrante.
- d. Estaciones de bombeo.
- e. Captación con torre-Toma en corrientes de regulación.
- f. Captación en fuentes subterráneas.
- g. Otras captaciones: aguas lluvias, nieblas y desalinización.

#### 2.3.2.1. Captación lateral.

Es muy utilizada cuando la fuente de aprovechamiento posee un caudal relativamente grande. El sitio se selecciona donde la estructura quede a una altura conveniente del fondo, ubicadas al final de las curvas, en la orilla exterior, y en lugares protegidos de la erosión o socavación (Corcho & Duque, 1993).

Para asegurar el nivel mínimo de las aguas, se debe proyectar un muro normal o inclinado con respecto a la dirección de la corriente, además de muros laterales para proteger y acondicionar la entrada del agua al conducto y para colocar los dispositivos necesarios para regular el flujo o impedir la entrada de materiales indeseables (Materon, 1997).

Para un buen diseño, es indispensable estudiar el comportamiento hidrológico de la corriente, es necesario determinar los caudales máximos y mínimos y la curva de derivación de caudales naturales. En general, la información hidrológica que se refiere a los caudales máximos permitirá asegurar una debida protección de la estructura contra las crecientes; la información de caudales mínimos garantizará la selección del caudal a captar adecuado a los niveles mínimos de la corriente; en el caso de las corrientes naturales con alta demanda de agua, la curva de duración de caudales provee la información relacionada con las limitaciones y alcances de la corrientes para suministrar los caudales adecuados (Materon, 1997).

#### 2.3.2.2. Captación sumergida tipo dique-toma.

Cuando las corrientes de agua son de escasos caudal ( $Q < 0.04 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (Materon, 1997) y las secciones transversales del río en el sitio donde se proyecta la boca toma son de poco ancho (cero a diez metros), es conveniente proyectar un dique con el objeto de garantizar el caudal que se debe captar (Corcho & Duque, 1993).

Para propósitos de diseño se debe evitar que el área de captación quede expuesta al paso de material grueso; igualmente se debe proyectar el dique en forma tal, que la tasa de sedimentación en la zona del embalse no sea excesivamente alta; esto se logra permitiendo que el agua fluya con moderada velocidad por la obra de captación (Materon, 1997).

#### 2.3.2.3. Bocatoma sumergida (caudales mayores).

Este tipo de bocatoma es el de mayor uso, sobre todo en acueductos municipales. Las características de las fuentes de abastecimiento en las regiones montañosas propician el hecho a que este tipo de bocatomas se adapten a estas fuentes (Corcho & Duque, 1993). Como su nombre lo indica, consiste en una captación sumergida en la que el afluente pasa por encima de la reja captadora de agua.

Los elementos que se pueden considerar más relevantes en el diseño de una bocatoma sumergida son: el dimensionamiento de la reja, el cálculo del caudal de captación y el dimensionamiento del canal colector, entre otros (Materon, 1997).

#### 2.3.2.4. Captación por lecho filtrante.

Como su nombre lo indica, consiste en un sistema capaz de captar agua mediante la utilización de un filtro que se construye en el lecho de una corriente. Se define como, “estructura de captación de agua para acueductos de bajo caudal (entre 1 a 40 l/s (Materon, 1997)), que tiene la capacidad de filtrar el influente antes de conducirlo a la línea de aducción del sistema. Esta se logra mediante la utilización de un lecho granular, el cual filtra el agua y lo conduce a un sistema de recolección por tuberías perforadas en el fondo del cauce. Estas tuberías perforadas se encuentran generalmente en disposición de espina de pescado o en forma reticular y a junta perdida en ambos casos (Corcho & Duque, 1993).

Un sistema de captación de lecho filtrante está constituido básicamente por una presa o dique, muros laterales con aletas de entrada y salida, material filtrante, tubería perforada de drenaje, decantador de flujo ascendente, válvulas, desarenador y vertedero (Materon, 1997). La tubería del sistema de recolección puede ser de PVC de drenaje, la cual se adapta muy bien y facilita la construcción del múltiple recolector; se recomienda tubería PVC sanitaria para el principal que conducirá el agua hasta la cámara colectora (Materon, 1997).

## 2.4. Conducciones

Según (Corcho & Duque, 1993) la conducción es el componente de un sistema de abastecimiento de agua a través del cual se transporta esta, desde el desarenador hasta la planta de tratamiento, al tanque de almacenamiento o directamente a la red de distribución. Dependiendo la conexión a alguno de los anteriores componentes, del tamaño del proyecto; de las características del agua; de la capacidad financiera y de inversión del municipio; de las condiciones topográficas; etc.

La mayoría de las conducciones aplicadas a sistemas de acueductos implican el flujo de tuberías; no obstante, en ocasiones por razones económicas y topográficas es posible diseñar conducciones en canales abiertos. De acuerdo con el comportamiento hidráulico del flujo las conducciones pueden ser (Corcho & Duque, 1993):

- Canales abiertos.
- Conductos cerrados sin presión.
- Conductos cerrados a presión en los cuales el agua se impulsa por la gravedad o mediante estaciones de bombeo.
- Conducciones mixtas.

### 2.4.1. Conductos cerrados a presión.

Los conductos a presión son los más frecuentes y existen multiplicidad de fórmulas para el cálculo de tuberías. Desde la presentación de la fórmula de Chézy en 1975, que representa la primera tentativa para explicar de forma algebraica la resistencia a lo largo de un conducto forzado, innumerables fueron las expresiones propuestas para el mismo propósito (Corcho & Duque, 1993).

En la actualidad, existe una buena cantidad de fórmulas para calcular tuberías y los resultados obtenidos con el empleo de fórmulas diferentes llegan a variar en un 100%. (Corcho & Duque, 1993). Unas de las ecuaciones que más son utilizadas en el cálculo de las tuberías son: la ecuación de Hazen-Williams, investigadores norteamericanos (Allen Hansen, ingeniero civil y sanitario. Gardner S. Willianms, profesor de hidráulica). La ecuación de Darcy-Weisbach y la ecuación del francés Chézy, conocida también como el método científico (Corcho & Duque, 1993).

A medida que un fluido fluye por un conducto, ocurren pérdidas de energía debido a la fricción que hay entre el líquido y la pared de la tubería; tales energías traen como resultado una disminución de la presión entre dos puntos del sistema de flujo (Castillo, 2016). Esta pérdida de energía suele expresarse en términos de energía por unidad de peso del fluido circulante dado en dimensiones de longitud, denominada pérdida de carga (Óscar & Angulo, 1991). La pérdida de carga está relacionada con otras variables según sea el tipo de fluido, laminar o turbulento. Para determinar este factor de fricción existen muchas ecuaciones, entre las más conocidas se tiene la ecuación de Blasius y la de Colebrook- White (5) (Saldarriaga).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{251}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (5)$$

Donde:

$f$ =factor de fricción

$Re$ = número de Reynolds

$D$  = diámetro

$\varepsilon$  = rugosidad relativa

Se ha demostrado que la ecuación de Colebrook-white (5) es válida para todo tipo de flujo de régimen turbulento en tuberías (Saldarriaga, 2001). Sin embargo tiene el problema de que no es una ecuación explícita para el factor de fricción  $f$ , lo cual implica la necesidad de utilizar algún método numérico para calcularlo una vez se conozcan todas las variables.

#### 2.4.2. Válvulas.

Una válvula es un elemento mecánico que se utiliza para controlar, regular y proteger el paso de fluido a través de una instalación industrial o maquinaria (UAB, 2016). Consta de un cuerpo por donde pasa el fluido, un elemento llamado obturador que hace variar la sección de paso, regulando el caudal y perdiendo presión. Las válvulas se pueden clasificar en dos modalidades (UAB, 2016):

##### 2.4.2.1. Válvulas todo o nada:

Según la Universidad Autónoma de Barcelona (2016). Este tipo de válvula, únicamente permite o impide el paso de fluido, pero no puede regular el caudal de paso. Dicho accesorio obstruye la sección de paso al cerrarse y una vez abiertas, la resistencia a la circulación del fluido en términos de carga son mínimos.

##### 2.4.2.2. Válvulas de regulación.

Son aquellas que aumentan o disminuyen el paso de circulación del fluido. Esto, provoca la regulación de caudal dependiendo de las necesidades de uso. Dicha acción es lo suficientemente lenta para dar paso a diferentes caudales, aumentando así, las pérdidas de carga (UAB, 2016).

Las válvulas se encuentran de diferentes tipos, entre las que más se resaltan son las siguientes: válvulas de compuerta, de mariposa, de bola, de asiento o globo y retorno, entre otras. Sobre la cual la misma válvula puede tener diferentes funciones (operación, regulación y control) (UAB, 2016).

#### 2.4.2.2.1. Válvulas de alivio de presión.

Estas válvulas están diseñadas para liberar el fluido cuando la presión interna sobrepasa el límite estándar. Son necesarias para poder evitar rupturas de una tubería y fugas en accesorios, garantizando la calidad y continuidad del servicio. Su principio básico de la regulación es tener una presión de entrada, mediante la restricción de flujo, que genera una pérdida, garantizando así una presión de servicio aguas debajo de la reductora (Huertas & Fernandez, 2016).

#### 2.4.2.2.2. Válvulas ventosas.

Las ventosas o válvulas de aire, son elementos indispensables para la protección de las instalaciones de riego, ya que evitan la acumulación de masas de aire en los puntos altos y singulares en el interior de las tuberías a presión a la hora del llenado, así como sirven de pulmón a la hora de aspirar el aire en el momento de vaciado de las tuberías, evitando el aplastamiento de la misma por la creación de vacío (Iglesias, Fuertes, García, & Martínez, 2016).

Los problemas relacionados con el aire en una conducción pueden generar la interrupción total o parcial del caudal originada por la presencia de una bolsa de aire en un punto alto (Iglesias et al., 2016). También reduce los golpes de ariete producidos por la detención de la bolsa de aire o en su desplazamiento en la canalización y puede provocar el descebado de bombas o sifones. Por lo tanto, las ventosas tienen las siguientes misiones (Serrano, 2016):

- Expulsar el aire del interior de la tubería o permitir que entre desde el exterior.
- Extraer el aire de las conducciones e impedir su entrada.
- Permitir la entrada de aire del exterior a las conducciones para evitar su expulsión.

### **2.5. Programa EPANET**

“Es un programa de ordenador que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de distribución a presión” (Rossman, 2006). En general, “una red consta de tuberías, nudos (conexiones entre tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. EPANET determina el caudal que circula por cada una de las conducciones, la presión en cada uno de los nudos, el nivel de agua en cada tanque y la concentración de diferentes componentes químicos a través de la red durante un determinado periodo de simulación analizado en diferentes intervalos de tiempo. Además del conocimiento de la concentración de diferentes componentes químicos, es posible determinar el tiempo de permanencia del agua en las tuberías, así como estudios de la procedencia del agua en cada punto de la red” (Rossman, 2006).

EPANET está diseñado para ser una herramienta de desarrollo en el aumento del conocimiento relacionado con el movimiento y el destino de los constituyentes del agua en una red de distribución. De hecho, puede emplearse para multitud de aplicaciones en el análisis de sistemas

de distribución; diseño de programas de muestreo, calibración de modelos hidráulicos, análisis del cloro residual y valoración del riesgo a que se encuentran sometidos los consumidores son algunas de las aplicaciones que pueden llevarse a cabo. Así mismo, EPANET puede servir de ayuda para la evaluación de diferentes estrategias alternativas de gestión de los sistemas de distribución encaminadas todas ellas a la mejora de la calidad del agua dentro del sistema (Rossman, 2006). Esto incluye:

utilización alternativa de las fuentes de suministro en sistemas que disponen de múltiples fuentes de abastecimiento, variación de los esquemas de bombeo y de llenado y vaciado de los depósitos, uso de técnicas de tratamiento satélite, tales como la reclusión en determinados depósitos de almacenamiento, Determinación de conducciones que deben ser limpiadas o sustituidas.

## 2.6. Tubería para la conducción de agua termal o con temperatura

### 2.6.1. Tuberías multicapa.

Las tuberías multicapa son una evolución de las tuberías de polietileno reticulado, están compuestas de dos capas, exterior e interior de polietileno (PEX o PERT) y una capa intermedia de aluminio (Blansol, 2017). Gracias a esa composición, las tuberías multicapa consiguen combinar las propiedades de los materiales plásticos (elevada resistencia química e insensibilidad a la corrosión) con las propiedades de los materiales metálicos (especialmente su rigidez).

*Tabla 1. Propiedades Físicas y Mecánicas de tubería Multicapa.*

<b>PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS</b>	
Dilatación lineal	0,025 mm/m·K
Conductividad térmica	R=0,4 W/m·K
Temperatura máxima de trabajo	95°C
Temperatura máxima puntual	110°C
Presión máxima de trabajo	10 bar a 95° C
Rugosidad	E=0,0004 mm
Densidad	1,47 gr/cm <sup>3</sup>
Permeabilidad al oxígeno	0 mg/l*d
Grado de reticulación	> 65%

Estas propiedades son válidas para las tuberías multicapa BARBI PEX/AL/PEX. En el caso de las tuberías multicapa BARBI PERT/AL/PERT, la temperatura máxima tanto de trabajo como puntual se limita a 70°C (Blansol, 2017).

#### 2.6.1.1. Tipos de tubería multicapa.

Según (Blansol, 2017) se consideran tuberías multicapa todas aquellas que se componen de cinco capas y que se rigen según la norma Europea EN ISO 21003. La novedad de dicha norma es que no solamente regula las tuberías multicapa de polietileno (reticulado o no reticulado) con capa intermedia de aluminio sino también aquellas que contienen barrera antioxígeno interior, así como todas las tuberías multicapa de polipropileno random (PPr) en sus diferentes versiones.

##### 2.6.1.1.1. Tubería multicapa de polietileno reticulado (PEX/AL/PEX).

El polietileno (PE) es un material plástico o polímero que se obtiene a través de la polimerización de un monómero que es el gas etileno. La reticulación del polietileno consiste en un proceso a través del cual se consiguen unos lazos de unión entre las cadenas de polietileno que proporcionan una elevada resistencia a la presión y a la temperatura. La reticulación convierte al polietileno normal, que es un termoplástico, en un termoestable y esta transformación se mide en función del grado de reticulación o gelificación (Blansol, 2017). Es por ello que el polietileno reticulado es un material especialmente adecuado para su uso en tuberías por las que circule agua a presiones y temperaturas elevadas.

##### 2.6.1.1.1.1. Ventajas de las tuberías multicapa PEX/AL/PEX frente a las tuberías metálicas.

Las ventajas de las tuberías multicapa MULTYPEX PEX/AL/PEX frente a las tuberías metálicas son las siguientes (Blansol, 2017):

- Resistencia a temperaturas elevadas: son aptas para ser utilizadas en temperaturas habituales de trabajo de hasta 95°C, siendo capaces de soportar puntas accidentales de hasta 110°C.
- Resistencia a las heladas: no se producen reventones debido a la congelación del agua contenida dentro del circuito en caso de helada. La tubería, gracias a su flexibilidad, simplemente dilatará.
- Baja conductividad térmica: Su bajo coeficiente de conductividad (0,4 W/ m°C) proporciona un ahorro energético al reducir las pérdidas de calor, y al ser mal conductoras de calor, son un excelente aislante térmico.
- Ausencia de condensaciones: Las condensaciones habituales en las tuberías de cobre se producen con mucha dificultad en las tuberías multicapa debido a su baja conductividad térmica.

- Ligereza: Las tuberías multicapa son más ligeras que las tuberías de cobre, lo que facilita su manejo y transporte.
- Flexibilidad: La flexibilidad de las tuberías multicapa permite ahorrar uniones y reducir los tiempos de instalación.
- Radios de curvatura cerrados: Su radio máximo de curvatura es de 5 veces el diámetro exterior curvando manualmente y de 4 veces curvando con el muelle curvatubo.
- No conductoras de electricidad.
- Menos ruidos: Las tuberías de cobre son muy ruidosas a velocidades de agua superiores a 1 m/seg, mientras que las tuberías multicapa no producen ruidos hasta velocidades de 2,5 m/seg.
- Resistencia a corrosiones: A las tuberías multicapa no les atacan la mayor parte de los agentes químicos (ácidos, bases, anticongelantes, etc.) y son resistentes a todo tipo de corrosiones.
- Mayores caudales: Gracias a su superficie lisa, las tuberías multicapa tienen menores pérdidas de carga que las tuberías metálicas, esto es, con ellas se consiguen mayores caudales a igualdad de diámetros interiores.
- Ausencia de incrustaciones de cal y otros depósitos: Gracias a que la superficie de las tuberías multicapa es lisa, se evitan las incrustaciones de cal tan frecuentes en las tuberías metálicas. Con las tuberías multicapa el caudal inicial se mantendrá de por vida.
- Larga vida: puede superar los 50 años de servicio incluso en condiciones de temperatura y presión elevadas.
- Evitan la formación de hongos.

#### 2.6.1.1.2. Tubería multicapa de polietileno resistente a la temperatura (PERT/AL/PERT).

Las resinas de PE-RT vienen siendo usadas para la fabricación de tubos de agua caliente y fría desde hace más de 25 años, aportando una serie de beneficios como son su resistencia a la temperatura, resistencia mecánica, química y resistencia a la corrosión. Además, este tipo de resinas tienen otras propiedades como la mejorada resistencia a la presión interna de los tubos a alta temperatura, larga duración, mayor flexibilidad y además no necesitan ser reticulados, evitando de esta forma la incorporación de otro tipo de aditivos.(Blansol, 2017).

Básicamente están disponibles dos tipos de PERT (Blansol, 2017):

- Tipo 1: ha sido desarrollado para cubrir el suministro de agua caliente a 60°C (Clase 1), el suministro de agua caliente a 70°C (Clase 2), el suelo caliente y la conexión de radiadores a baja temperatura: 20, 40 y 60°C (Clase 4).
- Tipo 2: ha sido desarrollado para cubrir las mencionadas clases (1, 2 y 4) más la clase 5 (conexiones de radiadores a alta temperatura: 80°C).

##### 2.6.1.1.2.1. Ventajas de las tuberías multicapa PERT/AL/PERT.

Las ventajas de las tuberías multicapa PERT/Al/PERT son las siguientes (Blansol, 2017):

- Son más fáciles de doblar, incluso a bajas temperaturas, que las tuberías metálicas y que otras tuberías multicapa. Esta característica reduce los costes de su instalación.
- Durante la producción de los tubos, no es necesario utilizar agentes reticulantes ya que no es necesaria la reticulación.
- Extraordinarias propiedades hidrostáticas. Ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de materiales sueco Bodycote confirman las excelentes propiedades hidrostáticas de la resina del PE-RT (Blansol, 2017). Simulando una vida útil de 50 años a una temperatura de 70°C, la nueva resina de PE-RT superó los requerimientos mínimos del material PE-RT Tipo II en las más importantes clases de aplicación en más de un 10% basado en los estándares ISO 10508 (Blansol, 2017).

## 2.6.2. Tubería de polipropileno Random – PPR.

Las tuberías de polipropileno Random Tepco-PPR de Corema S.A.S. son la mejor opción para el transporte de fluidos a temperaturas elevadas (fríos o calientes), así como también para transporte de sustancias químicas debido a su alta resistencia contra agentes químicos, excelentes propiedades térmicas y larga vida útil (Tepco, 2018).

### 2.6.2.1.Aspectos técnicos.

- Se ha comprobado que las tuberías PPR después de 50 años de uso continuo en el transporte de agua caliente (60 °C) aún se encuentran en condiciones óptimas de trabajar a una presión de hasta 187 PSI- 112.9 kg/cm<sup>2</sup> sin sufrir algún tipo de deterioro (Tepco, 2018).
- Las uniones por termofusión proveen alta solidez y seguridad, garantizando resistencias superiores a 1422 PSI – 100 kg/cm<sup>2</sup> de presión (Tepco, 2018).

### 2.6.2.2.Características.

Según (Tepco, 2018) las características de la tubería PPR son las siguientes:

- No se corroen, ni se generan incrustaciones.
- Baja pérdida de carga y dispersión térmica.
- Alta resistencia contra agentes químicos.
- Atoxicas, no contaminan.
- Resistentes a altas temperaturas. ( $\leq 85^{\circ}\text{C}$ ).
- Sismo resistentes, livianas y acústicas.
- Alta resistencia al impacto.
- Fácil instalación y bajos costos de mantenimiento.
- Adaptable a tuberías de otros materiales (metal, polímeros, etc.).

### 2.6.2.3. Campos de aplicación.

Según (Tepco, 2018) la tubería de PPR tiene los siguientes campos de aplicación:

- Sistemas de transporte de fluidos fríos y calientes.
- Transporte de químicos.
- Sistema de aire comprimido.
- Sistema de calefacción y desagües en calderas.
- Transporte de sustancias alimenticias (jarabes, granos, cerveza, jugos, etc.).

### 2.6.3. Tubería fibra de vidrio.

Las tuberías reforzadas con fibra de vidrio (GFK) o plástico reforzado con fibra de vidrio es un compuesto de fibra y plástico, formado por un plástico (por ejemplo, resinas no saturadas de poliéster, viniléster o epoxy) y fibra de vidrio (FGS, 2018). Dependiendo del tipo de plástico empleado y del sistema de producción, se le añaden a esta combinación resinas. El material resultante combina las elevadas resistencias a la rotura de las fibras de vidrio, con la resistencia a la corrosión de la resina. El GFK no es en sí mismo un material homogéneo, ya que se compone de diferentes capas de fibra de vidrio y resinas (FGS, 2018).

Por este motivo también son distintos los valores del módulo de elasticidad tanto en dirección axial como radial. Mediante la diferente orientación de las fibras de refuerzo se diferencian los alargamientos autorizados y los límites de elasticidad, proporcionales en ambos sentidos. La elección de la resina influye sobre la resistencia química y el comportamiento ante los cambios de temperatura del compuesto; la elección de la fibra de vidrio determina las propiedades mecánicas, como el límite de elasticidad, la resistencia a la presión y el módulo de elasticidad (FGS, 2018).

#### 2.6.3.1. Ventajas de las tuberías de GFK.

El GFK tiene un buen comportamiento y resistencia a la corrosión también en entornos agresivos. Otras ventajas de este material son (FGS, 2018):

- Elevada resistencia a la ruptura por elongación.
- Absorción elástica de energía.
- Elevada resistencia específica.
- Buenas propiedades aislantes.

#### 2.6.3.2. Clasificación general y propiedades de las tuberías de fibra de vidrio.

Los productos de fibra de vidrio – tuberías, fittings o accesorios se aplican mayoritariamente en los siguientes sectores (FGS, 2018):

- Conducciones industriales.
- Exploración y extracción “up stream” de petróleo y gas.
- Aplicaciones marinas y “offshre” (mar abierto).
- Perforaciones geotérmicas y de aguas termales.
- Conducciones de baja presión de 10-40 bar.
- Conducciones a alta presión con una presión nominal de hasta 280 bar.
- Perforaciones de hasta 3000 metros en petróleo, gas y aguas termales.

### 2.6.3.3.Ficha técnica FIBERGLASS.

*Tabla 2. Ficha técnica FIBERGLASS.*

<b>NOMBRE DEL PRODUCTO</b>	<b>STAR LINE/PIPES</b>
Fabricante	Fiber Glass Systems LP.
Proveedor	GWE pumpenboese GmbH.
Certificación/sistema de calidad	ISO 9001, API Q 1, API 15LR, API 15 HR.
Dimensiones	1 ½ “– 8“(DN 25 – DN 200 mm).
Resistencia a la presión	Máx. 4000 PSI (270 bar).
Resistencia al calor	Máx. 200° F (93,3° C).
Largo	30 ft (± 9,0 metros).
Certificados de tubería	Certificado 3.1B – según Norma EN 10204, análisis después de cada 1.500 metros de tubería producida 100% de la tubería y accesorios según Norma API 15 HR. Vidrio / Resina epoxy / Endurecedor. Sistema de enrollado en ángulo 54.75°.
Tipo de rosca	API-EUE-10 RD (1- ½”) 8RD para todas las demás dimensiones según la Norma API-5B.
Fabricación	Advanced Composite Thread (ACT), adaptada mediante molde o Precision Ground Thread (PGT).

*Tabla 3. Características del material de la tubería de Fibra de Vidrio.*

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	UNIDAD	RANGO
Modulo-E – Axial	N/mm <sup>2</sup>	0.30-13.800
Modulo-E - radial	N/mm <sup>2</sup>	17.900-29.700
Número de Poisson		0,38-0,39
Coefficiente de expansión térmica	mm/mm°C (x10-5)	1,6-2,30
Conductividad térmica	<b>W/m/°C</b>	<b>0,35-0,40</b>
Peso específico	kg/dm <sup>3</sup>	1,8-1,99
Densidad del material	g/m <sup>3</sup>	1,8-1,98
Factor Hazen-Williams		150-160
Grado de aspereza	mm	0,0053

*Tabla 4. Características de la tubería de Fibra de Vidrio.*

CARACTERISTICAS DE LA TUBERIA	UNIDAD	RANGO
Resistencia a la presión interior	Bar	35-275
Resistencia a la compresión.	Bar	16-40
Resistencia a la temperatura	°C	65-99
Resistencia a la tracción	Kg	445-26,994
Vida útil	Años	20

#### 2.6.4. Tubería CPVC.

La tubería CPVC (Policloruro de Vinilo Clorado) es una solución integral, diseñada específicamente para la conducción de agua caliente. Las nuevas características de las tuberías y accesorios, fabricados con “resina de última generación,” mejora tres veces su desempeño maximizando su resistencia al impacto y a altas temperaturas (PAVCO, 2018b). Se puede encontrar en diámetros de media hasta dos pulgadas, con longitudes de 3(tres) metros (PAVCO, 2014).

#### 2.6.4.1.Ventajas.

- Fáciles de instalar. Cuenta con una línea completa de accesorios y no requiere de ningún equipo para su unión. Se realiza manualmente con soldadura CPVC de PAVCO.
- Máxima resistencia al impacto.
- No transmite olor ni sabor al agua.
- Baja conductividad térmica y eléctrica. Garantizan la temperatura del agua en tramos largos por su bajo coeficiente de conductividad térmica (0.95 BTU/hr/pie<sup>2</sup>/°F/pulg) (PAVCO, 2018a) y no requiere ningún tipo de aislamiento. Brinda seguridad para el hogar por su baja conductividad eléctrica.
- No se oxida, corroe o se incrusta.

#### 2.7.Transferencia de calor

Con base en la experiencia, se sabe que una bebida enlatada fría dejada en la habitación se entibia y una bebida enlatada tibia que se deja en un refrigerador se enfría. Esto se lleva a cabo por la transferencia de energía del medio caliente hacia el frío. La transferencia de energía siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja y esa diferencia se tiene cuando ambos alcanzan la misma temperatura (Cengel, 2007)

La ciencia que trata de determinar forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura o calor es la transferencia de calor (Cengel & Ghajar, 2011). Esto es posible, gracias a la aplicación de un análisis termodinámico. Un análisis termodinámico sencillamente establece cuanto calor debe transferirse para que se realice un cambio de estado específico con el fin de satisfacer el principio de conservación de la energía.

##### 2.7.1. Mecanismos de transferencia de calor.

###### 2.7.1.1.Conducción.

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las energéticas menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos y gases. En los gases y los líquidos se debe a las colisiones y a la difusión de sus moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una red y al transporte de energía por parte de los electrones libres (Cengel, 2007). Por ejemplo, llegara el momento en que la bebida enlatada fría en un cuarto cálido se caliente a la temperatura ambiente como resultado de la transferencia de calor por conducción, del cuarto hacia la bebida a través del aluminio (Cengel, 2007).

La rapidez o la razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de este, su espesor y del material de que este hecho (conductividad térmica), así como de la diferencia de temperaturas a través de él. Si el objeto esta hecho de un material aislante (fibra de vidrio, plástico, madera, etc.), este reduce su razón de la perdida de calor (Cengel, 2007).

#### 2.7.1.1.1. Conductividad térmica.

Así como los diferentes materiales almacenan calor en forma diferente y se ha definido la propiedad de calor específico como una medida de la capacidad de un material para almacenar energía térmica. Del mismo modo, la conductividad térmica  $k$  es la medida de la capacidad de un material para conducir calor y se puede definir como “la razón de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por unidad de diferencia de temperatura” (Cengel & Ghajar, 2011). La conductividad térmica de un material es una medida de la capacidad del material para conducir calor.

#### 2.7.1.2. Convección.

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos (Cengel & Ghajar, 2011). Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia del movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia (Cengel, 2007).

La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado de las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido (Cengel, 2007).

#### 2.7.1.3. Radiación.

Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Esta es la manera en la que la energía del sol llega a la tierra (Cengel, 2007).

### 2.7.2. Conducción de calor en cilindros.

Considere la conducción estacionaria de calor a través de un tubo de agua caliente. El calor se pierde en forma continua hacia el exterior a través de la pared del tubo e, intuitivamente, se siente que la transferencia de calor a través de este se efectúa en la dirección normal a su superficie y no se tiene alguna transferencia significativa en otras direcciones. (Figura 2). La pared del tubo cuyo espesor es más bien pequeño, separa dos fluidos a temperaturas diferentes y, en consecuencia el gradiente de temperatura en la dirección radial es relativamente grande. Además, si la temperatura de los fluidos dentro y fuera del tubo, permanecen constantes entonces la transferencia de calor a través de ese tubo es estacionaria. Por lo tanto la transferencia de calor a través del tubo se puede considerar estacionaria y unidimensional (Cengel, 2007).

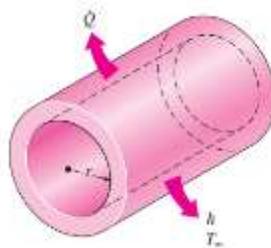


Figura 2. Dirección de la transferencia de calor en una tubería. Fuente: (Cengel, 2007).

Donde  $Q$  es la pérdida de calor por conducción y  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección.

En un tubo que conduce agua caliente el calor se pierde hacia el aire del exterior en la dirección radial y, como consecuencia, la transferencia de calor de un tubo largo es unidimensional (Cengel, 2007).

### 2.7.3. Flujos laminar y turbulento en tubos.

Si el lector a estado cerca de fumadores, es probable que haya advertido que el humo de los cigarrillos se eleva en una columna suave mientras recorre los primeros centímetros y, a continuación, empieza a fluctuar al azar en todas las direcciones mientras que sigue elevándose, otras columnas de humo se comportan de manera semejante. Del mismo modo, Una inspección cuidadosa del flujo en un tubo revela que el flujo del fluido sigue líneas de corrientes suaves a velocidades bajas, pero se vuelve caótico conforme se incrementa la velocidad por encima de un valor crítico, el primer caso se dice que el régimen de flujo es laminar, caracterizado por líneas suaves de corriente y un movimiento altamente ordenado; el segundo caso es turbulento, se caracteriza por fluctuaciones en la velocidad y un movimiento altamente desordenado. La transición del flujo laminar al flujo turbulento no ocurre de forma repentina; por el contrario tienen lugar sobre cierta región en donde el flujo fluctúa entre laminar y turbulento, antes de volverse por completo turbulento (Cengel & Ghajar, 2011).

En condiciones más prácticas, el flujo laminar es para valores del número de Reynolds ( $Re$ )  $Re < 2300$ , turbulentos para  $Re > 10000$  y, en los valores intermedios de transición. Se debe tener presente que en muchos casos, el flujo se vuelve completamente turbulento para  $Re > 4000$  (Cengel, 2007).

#### 2.7.4. Numero de Reynolds.

La transición del flujo laminar a turbulento depende de la configuración geométrica de la superficie, de la aspereza superficial, de la velocidad del flujo, de la temperatura de la superficie y del tipo del flujo entre otras cosas. Después de experimentos exhaustivos en la década de 1880, Osborn Reynolds descubrió que el régimen de flujo depende principalmente de la razón de las fuerzas de inercia a las fuerzas viscosas en el fluido. Esta razón se conoce como número de Reynolds, el cual es una cantidad adimensional (Cengel, 2007).

#### 2.7.5. Numero de Nusselt

En los estudios sobre convección, es práctica común quitar las dimensiones a las ecuaciones que rigen y combinar las variables, las cuales se agrupan en números adimensionales, con el fin de reducir el número de variables totales (Cengel, 2007). También es práctica común quitar las dimensiones del coeficiente de calor  $h$  con el número de Nusselt que se define como

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (6)$$

Donde  $k$  es la conductividad térmica del fluido y  $L$  es la longitud característica. Este número recibió el nombre en honor de Wilhelm Nusselt, se concibió como el coeficiente adimensional de transferencia de calor por convección (Cengel, 2007).

### **3. Metodología**

#### **3.1.Reconocimiento de terreno**

Se realizó la caracterización de la zona de influencia, observando cada uno de los aspectos físicos estructurales y de distribución ambiental con los que cuenta la zona: se determinó el trayecto de la tubería por fincas aledañas a la quebrada Moscopan. Además, se tomaron fotografías mostrando el relieve de la zona, (anexos) y de estructura del suelo para identificar posibles contratiempos que puedan retrasar los procesos de implementación del proyecto.

#### **3.2.Aforo**

Para realizar la medición de la cantidad de agua que vierte del nacimiento de aguas termales se implementó el método de aforo volumétrico siguiendo los pasos establecidos por Morales (2014); en donde se utilizó un recipiente de 20 litros y un cronometro digital para la recolección de datos insitu.

#### **3.3.Levantamiento topográfico**

El levantamiento topográfico se realizó siguiendo la metodología expuesta por (García, 1994) en su libro “Curso Básico de Topografía: Planimetría, Agrimensura, altimetría”, en el cual se utilizaron las herramientas topográficas disponibles en la Universidad Surcolombiana, sede la plata, tales como estación total (Nikon NPL- 322 5”), prisma, cinta, jalón, mira, etc. Para la recolección de información geográfica, donde se identificó la trayectoria donde se piensa instalar la tubería. Seguido, se desarrolló la etapa de oficina o gabinete para obtención de un plano o representación gráfica, desarrollado en AutoCAD y ArcGIS, donde se encuentra la ubicación de las diferentes características o accidentes naturales y artificiales del terreno y posteriormente desarrollar el diseño hidráulico para la conducción de aguas termales en Epanet.

#### **3.4.Diseño de la obra de captación del agua**

Se realizó el diseño hidráulico de la obra de captación sumergida de tipo dique-toma, ya que este tipo de obras se debe utilizar para pequeños caudales, teniendo en cuenta la metodología de diseño expuesta por (Corcho & Duque, 1993) en su libro “Acueducto: teoría y diseño.” En el cual se utiliza la ecuación de Francis para el diseño de los vertederos y la ecuación de “Orificio sumergido” para el cálculo de la rejilla.

### **3.5. Selección de la tubería**

Para realizar la selección de la tubería se tuvo en cuenta las características técnicas de cada una de las tuberías proporcionadas por las diferentes empresas que las producen y comercializan. Así mismo, la facilidad de compra en el mercado nacional y el traslado de la misma hasta el sitio de implementación del proyecto.

### **3.6. Determinación pérdida de temperatura**

Siguiendo las ecuaciones establecidas por (Singh & Denis, 2002) en su libro “Introducción a la Ingeniería de los Alimentos” y el libro “Transferencia de calor y masa” de (Cengel & Ghajar, 2011) se determina la temperatura que se espera que llegue en la finca “Avenida Nueva,” al final de la trayectoria total de la tubería. Para esto se utilizan las ecuaciones para comprobar el flujo de calor por conducción y por convección. Además se tienen en cuenta propiedades del agua a diferentes temperaturas (número de Prandtl, viscosidad absoluta, densidad, entre otros).

### **3.7. Conducción de agua**

El diseño hidráulico de transporte del agua hasta el tanque de almacenamiento, se realizó a través de conductos cerrados a presión, impulsada por la fuerza de gravedad, utilizando para su diseño la ecuación de Darcy-Weisbach para relacionar la pérdida de carga hidráulica debido a la fricción a lo largo de la tubería con la velocidad media del flujo del fluido. Para determinar el factor de fricción ( $f$ ) se utilizaron las ecuaciones de Blasius y de Colebrook-white siguiendo los pasos de (Saldarriaga, 2001) en su libro “Hidráulica de tuberías”. De igual forma, se realizó el cálculo de la tubería utilizando el software EPANET 2.0 para realizar la simulación en periodo extendido del comportamiento hidráulico en la red de distribución a presión.

### **3.8. Presupuesto**

Basado en el diseño del sistema de conducción de aguas termales se determinó de manera real el presupuesto a invertir para la adquisición de los materiales utilizados y referenciados para la elaboración del diseño hidráulico, teniendo en cuenta los precios de los accesorios y tubería de la zona cercana al sitio de implementación del proyecto.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Localización del proyecto

El municipio de La Plata se encuentra localizado en la parte Sur-Occidente del departamento del Huila; en las estribaciones de la cordillera central. Geográficamente se encuentra situado en las coordenadas  $2^{\circ}23'00''$  de Latitud Norte y  $-75^{\circ}56'00''$  de Longitud Oeste según información municipal (La Plata(H), 2018). Limita al Norte con el Departamento del Cauca, por el Sur con el Municipio de la Argentina, por el Oriente con los municipios de Paicol y Pital y por el Occidente con el Departamento del cauca; posee una extensión total de  $1271 \text{ km}^2$  y se encuentra a una altitud promedio de la cabecera municipal de  $1118 \text{ m.s.n.m}$  (La Plata(H), 2018).

El proyecto se adelantará en las veredas San Sebastián y Villa Losada del municipio de La Plata, teniendo como fuente de abastecimiento el afloramiento llamado “termales de San Sebastián” (figura 3) ubicado sobre la finca “las juntas” propiedad de Jesús Losada y situado geográficamente con las coordenadas  $2^{\circ}16'50.8497''$  latitud Norte,  $-75^{\circ}59'25.1480''$  longitud Este y con una altitud de  $1379,77 \text{ m.s.n.m}$ .



*Figura 3. Termales de San Sebastián.*

En la figura 4 se muestra el mapa de la ubicación geográfica de la fuente de abastecimiento “Termales de San Sebastián” y de la finca “Avenida nueva” de la vereda Villa Losada ubicada geográficamente a  $2^{\circ}17'5.5008''$  Norte,  $-75^{\circ}57'54.1765$  Este y una altitud de  $1234.28 \text{ m.s.n.m}$ .

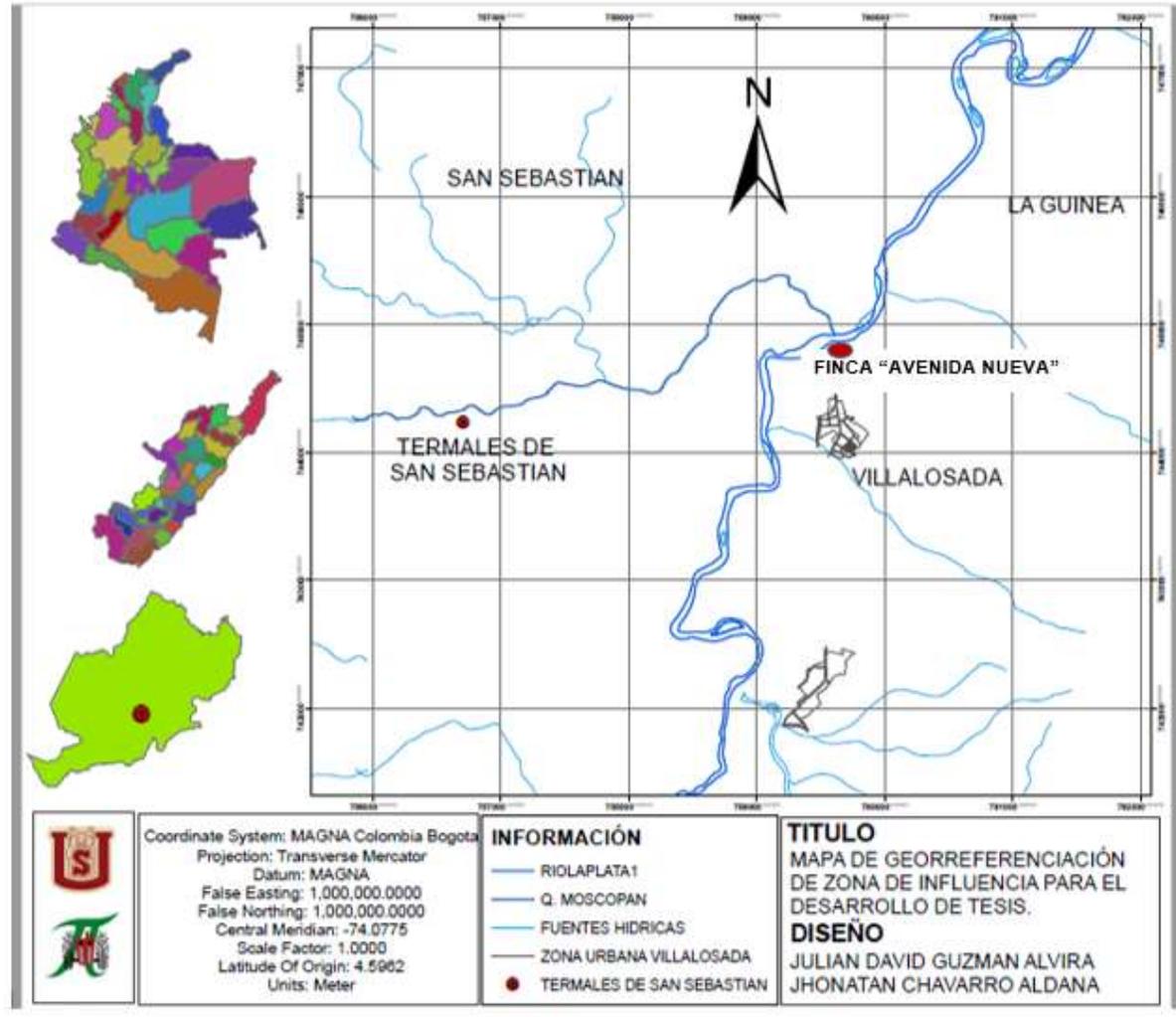


Figura 4. Localización del área del proyecto.

## 4.2. Aforo

Se utilizó el método volumétrico para la medición del caudal en el vertimiento del agua termal. Para esto se realizó 5 mediciones en los dos tubos (figura 5) de 10 segundos cada uno, empleando un recipiente calibrado de 20 litros. En la tabla 5 se muestran los datos obtenidos.



Figura 5. Tubos utilizados para la medición del caudal.

Tabla 5. Resultados de los datos obtenidos en la medición del caudal.

	Medición 1 (L)	Medición 2 (L)	Medición 3 (L)	Medición 4 (L)	Medición 5 (L)	Promedio (L)
<b>Tubo 1</b>	13	12,5	12,8	12,6	12,3	12,64
<b>Tubo 2</b>	7,5	7,3	7,2	7,4	7,4	7,36
<b>Volumen total</b>						20

Para el cálculo del caudal se utiliza el volumen promedio final, aplicándolo en la ecuación (1).  
Donde:

Q: caudal aforado. (L/s)

v: volumen colectado. (L)

t: tiempo llenado. (s)

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{20 \text{ l}}{10 \text{ seg}} = 2 \text{ l/seg} \quad (1)$$

También se realizó la medición de la temperatura del agua utilizando un termómetro varilla de inmersión total 10/360°C DIV franja amarilla de mercurio, dando como resultado una temperatura de 39°C.

### 4.3. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico) se realizó utilizando una estación total Nikon NPL- 322 5" con la cual se hizo la trayectoria para conducir el agua termal desde la bocatoma en la finca "las juntas" en la vereda San Sebastián, hasta la finca "Avenida Nueva" en la vereda Villa Losada. Se desarrolló con el método de poligonal abierta; para esto es necesario realizar cambios de estación con una distancia aproximada entre 30 a 50 metros, las cuales varían dependiendo las características del terreno, con unas coordenadas geográficas Norte, Este y Altura Sobre el Nivel del Mar proporcionadas por un sistema de posicionamiento global GPS. Dentro de estos cambios de estación se realiza una constante verificación de las coordenadas al moverse de lugar y tomando línea atrás, evitando al máximo generar errores de medición.

En este se identificaron características morfométricas de la zona y se localizaron los sitios para los cuales es necesario realizar empotramientos, anclajes para el paso aéreo de la tubería. La figura 6 muestra el resultado final de este levantamiento, ilustrando la trayectoria de la tubería; la cual tiene una longitud de 3773.07 metros y una diferencia de alturas de 145.49 metros desde el primer punto hasta el punto final en la finca "Avenida Nueva" de la vereda Villa Losada.

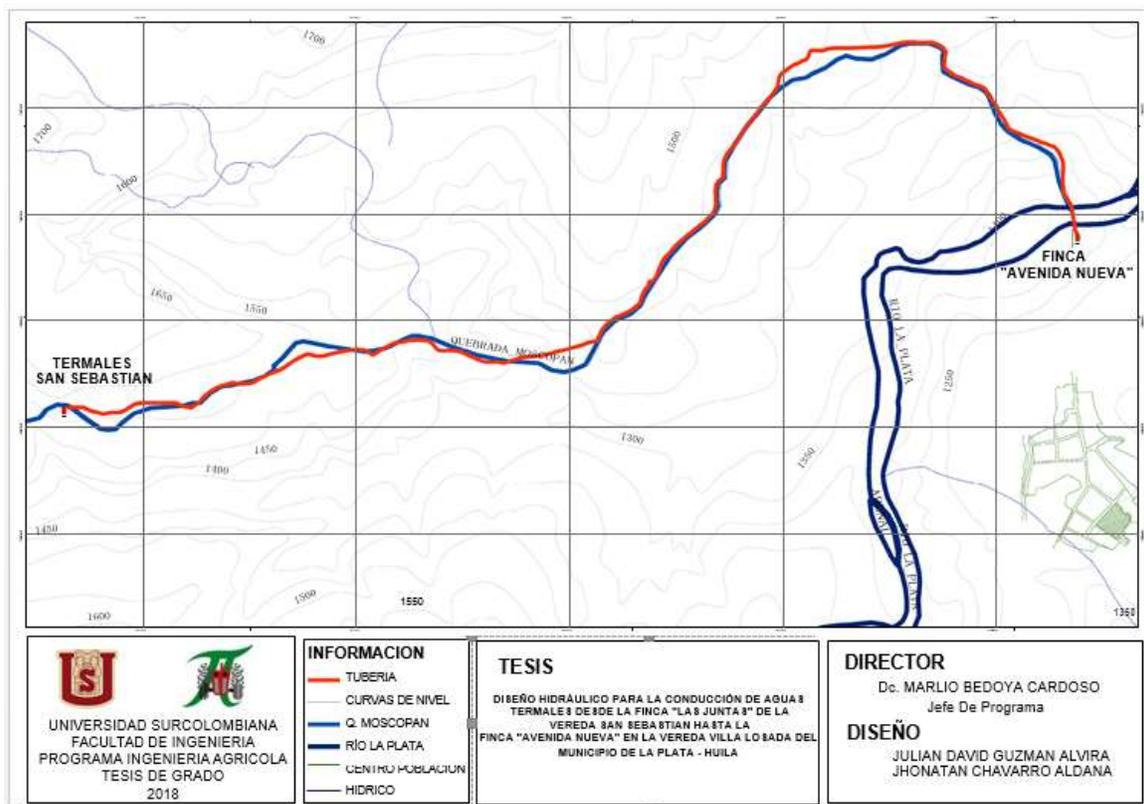


Figura 6. Trayectoria de la tubería en el programa ArcGIS.

#### 4.4. Diseño bocatoma

El diseño de la obra de captación y de conducción del agua termal se realizó teniendo en cuenta una cercanía al vertimiento, con coordenadas  $2^{\circ}16'50.8491''$  Norte,  $-75^{\circ}59'25.1480''$  Este, cota 1379,77 m.s.n.m; y se diseñó una bocatoma tipo “Dique-Toma”, ya que este tipo de estructuras es la que se utiliza cuando las corrientes de agua son de escaso caudal y las secciones transversales del río son de poco ancho (0 -10 metros) (Corcho & Duque, 1993).

Teniendo en cuenta que el vertimiento del agua termal, por ser un brote de agua subterránea puntual y que su caudal no cambia según la variabilidad climatológica de la región, se dispone a estimar los caudales máximos, medios y mínimos de cálculo para la bocatoma asegurando un caudal medio por debajo de la capacidad de la fuente para asegurar el caudal base de diseño de la conducción de agua. La figura 7 muestra la sección trasversal de la fuente de abastecimiento del agua termal y los caudales de diseño serán los siguientes:

- $Q_{\text{máx}}= 2,2$  l/s
- $Q_{\text{med}}=1,6$  l/s
- $Q_{\text{min}}=1,3$  l/s

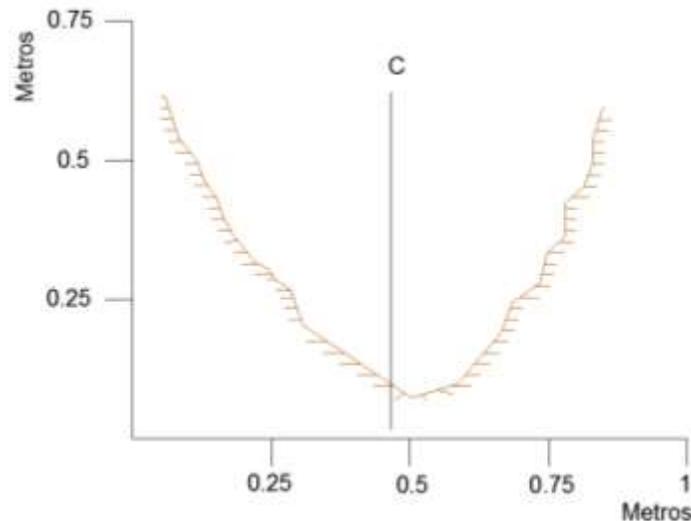


Figura 7. Sección transversal de la fuente de abastecimiento.

#### PROCEDIMIENTO

- **Se dimensiona el vertedero central o de aguas medias.**

A partir de la topografía de la sección transversal se fija una longitud de cresta del vertedero.

$L=15$  cm

Por medio de la ecuación de francys.

$$Q = C * L * H^{3/2} \quad (7)$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

C = Coeficiente de descarga

L = longitud de la cresta (m)

H = lámina de agua (m)

$$Q_{med} = 1,84 * L * H^{3/2}$$

$$0,0016 = 1,84 * 0,15 * H^{3/2}$$

$$H = \left(\frac{0,0016}{1,84*0,15}\right)^{3/2} = 0,0327\text{m}=3,2\text{cm}$$

La velocidad con que fluye la lámina de agua sobre el vertedero será.

$$V = \frac{Q}{A} = \left(\frac{0,0016}{0,15*0,032}\right) = 0,333 \text{ m/s} \quad (8)$$

Luego el vertedero se puede proyectar con las siguientes dimensiones.

$$H1 = 3,2 \text{ cm} \quad L = 15 \text{ cm}$$

Lo cual significa que el vertedero tendrá una capacidad total de descarga igual a:

$$Q = (1,84)(0,15)(0,032)^{3/2} = 0,001579 \text{ m}^3/\text{s} \cong 1,58 \text{ l/s}$$

- **Se calcula la carga de diseño a partir del caudal de diseño (1 l/s) en la fórmula de francys.**

$$Qc = (1,84)(L)(Hd)^{3/2}$$

$$0,001 = (1,84)(L)(Hd)^{3/2}$$

$$Hd = \left(\frac{0,001}{1,84*0,15}\right)^{3/2} = 0,023509 \text{ m} = 2,36 \text{ cm}$$

- **Se calcula la carga sobre el vertedero asociado al caudal mínimo.**

$$Q = (1,84)(L)(Hmin)^{3/2}$$

$$Hmin = \left(\frac{0,0013}{1,84*0,15}\right)^{3/2} = 0,02809 = 2,8 \text{ cm}$$

$Hd < Hmin$  Esta condición garantiza la captación del caudal de diseño

- **Se dimensiona el vertedero de crecientes.**

Se asume un valor para la longitud de cresta del vertedero  $L_2=30$  cm, se calcula el valor del caudal de descarga por el vertedero de creciente así:

$$Q_2 = Q_{max} - Q_1$$

$$Q_2 = 2,2 - 1,58 = 0,62 \text{ l/s} = 0,00062 \text{ m}^3/\text{s}$$

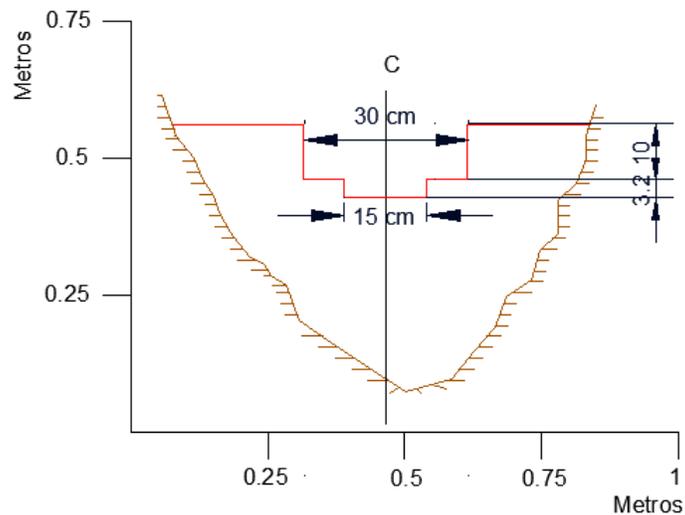
Luego se obtiene la carga sobre la cresta de creciente generado por  $Q_2$

$$H_2 = \left( \frac{0,0062}{1,84 * 0,3} \right)^{3/2} 0,05 = 5 \text{ cm}$$

Para fines prácticos puede tomarse un valor de  $H_2=10$  cm esto prevé la posibilidad de tener que evacuar un caudal creciente mayor que el esperado. El vertedero de creciente puede proyectarse con las siguientes dimensiones.

$$H_2=10 \text{ cm} \quad L=30 \text{ cm}$$

La figura 8 muestra las dimensiones finales del dique así:



*Figura 8. Sección transversal (dimensiones finales del vertedero).*

- **Calculo del área de captación**

La ecuación de orificio sumergido establece que

$$Q = C_d * A * \sqrt{2 * g * H} \quad (9)$$

Dónde:

Q= caudal en  $m^3/s$ .

Cd= coeficiente de descarga

A= área de la sección del orificio

g= fuerza de gravedad

H=gradiente hidráulico en m.

$$A_c = \frac{0,001}{0,61\sqrt{2(9,81)(0,028)}} = 0,00261 \text{ m}^2 = 26,1 \text{ cm}^2$$

Se asume para el dique un ancho de corona de 30 cm y el vertedero central y el creciente un ancho E = 0,20 m.

Teniendo en cuenta los datos anteriores se asume un ancho de rejilla F=0,10 m

- **Se selecciona la rejilla.**

- Se asume un ancho de la barra 1 cm
- Se asume un espacio entre rejillas = 0,5 cm
- Longitud asumida de la barra F= 0,10 cm

$$\text{Área espacio parcial} = 10 \text{ cm} * 0,5 \text{ cm} = 5 \text{ cm}^2$$

$$\text{N}^\circ \text{ total de espacios} = \frac{A_c}{a} = \frac{26,1}{5} = 5,22 \cong 6 \text{ espacios}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de barras} = \text{N}^\circ \text{ de espacios} - 1$$

$$6 - 1 = 5 \text{ barras}$$

- Longitud total de rejilla = 6 (0,5) + 5 (1) = 8 cm

**8 cm < 15 cm**

La longitud requerida es mayor que la longitud disponible del vertedero central. Es recomendable que el dique tenga la cara aguas abajo con una forma igual al perfil de la lámina de agua vertiente, los perfiles tipo Creager se ajustan bien en este tipo de obras que persiguen evitar la socavación aguas debajo de la estructura y su posible destrucción.

La figura 9 ilustra los valores finales de la rejilla y corona de la bocatoma así:

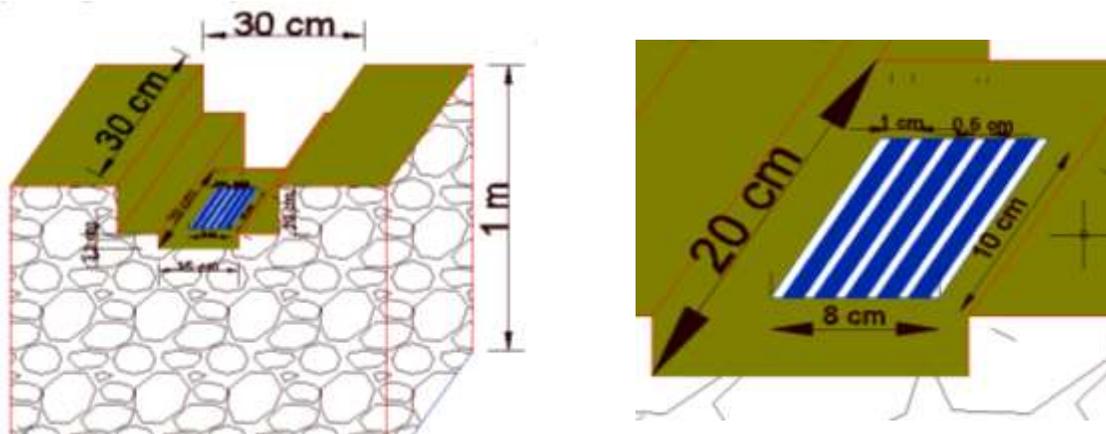


Figura 9. Detalle rejilla y corona.

#### 4.5. Selección de la tubería

Para realizar la selección de la tubería se tuvo en cuenta las características técnicas de cada una de las tuberías proporcionadas por las diferentes empresas que las producen y comercializan. Así mismo, la facilidad de compra en el mercado nacional y el traslado de la misma. La tabla 6 muestra la comparación de los diferentes tipos de tubería.

Tabla 6. Comparación de los diferentes tipos de tubería.

TUBERÍA		VIDA UTIL	RESISTENCIA A LA TEMPERATURA	CONDUCTIVIDAD TERMICA	COSTOS DE TRANSPORTE	MODO DE USO	PRECIO UNITARIO Peso cop
Tuberías multicapa	PEX/AL/PEX	Hasta 50 años en condiciones de presión.	95°C, siendo capaces de soportar puntas accidentales de hasta 110°C.	$R=0,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	País de origen España, producto de importación.	Transporte de agua con elevada temperatura en edificios.	\$1,979
	PERT/AL/PERT	Hasta 50 años en condiciones de presión.	Es utilizada normalmente a 70 °C	$R=0,4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$	País de origen España, producto de importación.	Transporte de agua con elevada temperatura en edificios.	\$9.242

Continuación tabla 6. Comparación de los diferentes tipos de tubería.

<b>Polipropileno Random – PPR</b>	Hasta 50 años en condiciones de presión.	Es normalmente usada con aguas a temperaturas (<85 °C) con óptimo desempeño.	R=0,24 W/Km	País de origen Colombia, producto nacional	Transporte de agua con altas y bajas temperatura y sustancias químicas.	\$ 9.300
<b>Fibra de vidrio</b>	Hasta 20 años.	Registra resistencia hasta 90°C	R= 0,35-0,40W/m/°C	País de origen Chile, producto de exportación.	Extracción de petróleo. Perforaciones geotérmicas y termales. Conducciones industriales	No registra
<b>CPVC</b>	Hasta 35 años.	Registra resistencia máxima de 60°C	R= 0.95 BTU/hr/pie2/° F/pulg	País de origen Colombia, producto nacional	Transporte de agua a elevada temperatura.	\$ 52.359

En la tabla 6 y se muestra que la tubería de Polipropileno Random – PPR de la compañía Corema Tepco, cumple con las especificaciones requeridas, como un coeficiente de conductividad térmica de 0,24 w/m°K mostrando un buen aislamiento del material, ya que según la normativa aceptada internacionalmente, un material se considera aislante térmico si cumple con un coeficiente de conductividad térmica menor de 0,6 w/(m°k) (Cortés, Rodríguez, & Méndez, 2008). Una resistencia superior a los 85 ° C con óptimo desempeño a la hora del transporte de agua con elevadas temperaturas y sustancias químicas. Y una vida útil de hasta 50 años. Además de estar disponible a nivel nacional ya que es un producto colombiano.

#### 4.6. Cálculo pérdidas de temperatura

Se calculó la pérdida de temperatura en la conducción de agua termal que transporta un caudal de 1 l/s con una longitud de 3773,07 metros a una temperatura de 39 ° C; la temperatura ambiente de la zona es de 17 ° C. La tubería cuenta con un coeficiente de conductividad térmica  $k=0,24 \text{ W/m}^{\circ}\text{k}$ , un diámetro interior de 36,1 mm y un diámetro exterior de 52,7 mm.

Para determinar la temperatura de llegada en la finca “Avenida nueva” al final de la trayectoria de la tubería, se analiza que en este proceso el flujo de calor tendrá lugar a través de tres capas; en la interior por convección (h1), a través de la tubería por conducción y al exterior por convección (h2) (Singh & Denis, 2002). Para calcular estas pérdidas de temperatura se debe calcular la transferencia de calor unificando estos tres procesos con un coeficiente global de transferencia de calor. Para esto, primero se va a calcular las pérdidas de calor por convección interna y externa para remplazarlo en la ecuación general de transmisión de calor de la siguiente manera.

#### 4.6.1. Calculo coeficiente de convección interno (h1).

Se buscan las propiedades del agua a 40°C en la tabla de propiedades de agua del libro transferencia de calor y masa (Cengel & Ghajar, 2011).

Conductividad térmica (k) = 0,631 ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

Viscosidad ( $\mu$ ) =  $0,653 * 10^{-3} Kg/m \cdot s$

Numero de prandtl (Pr)= 4,32

Densidad ( $\rho$ ): 992,1  $Kg/m^3$

Calor específico (Cp): 4179  $J/Kg \cdot K$

Ahora se Calcula el número de Reynolds (Re) con la siguiente ecuación.

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (10)$$

Donde:

V=volumen ( $m^3$ )

$\mu$ = viscosidad ( $Kg/m \cdot s$ )

D=diámetro (m)

Como no se tiene el valor de volumen (V) se calcula de la siguiente manera:

$$v = A \cdot V \quad V = \frac{v}{A} \quad (11)$$

Donde:

A=área

v= caudal másico

Reemplazando:

$$V = \frac{1 \text{ L/s}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{1 \text{ L/s}}{\frac{\pi(0,0361)^2}{4}} = 0,977 \text{ m/s}$$

Reemplazando V en la ecuación del número de Reynolds se tiene:

$$Re = \frac{0,977 \cdot 992,1 \cdot 0,0361}{0,653 \cdot 10^{-3}}$$

$$Re = 53585,09$$

Como  $Re > 10000$ , se dice que es un flujo de régimen turbulento. Ahora se calcula el número de Nusselt con la siguiente ecuación (15)

$$Nu = 3,66 + \frac{0,065 \left(\frac{D}{L}\right) \cdot Re \cdot Pr}{1 + 0,04 \left[\left(\frac{D}{L}\right) \cdot Re \cdot Pr\right]^{2/3}} \quad (12)$$

Donde:

Nu: número de Nusselt (adimensional)

Pr: número Prandtl (adimensional)

L: Longitud (m)

Reemplazando:

$$Nu = 3,66 + \frac{0,065 \left(\frac{0,0361}{3773}\right) \cdot (53585,09) \cdot (4,32)}{1 + 0,04 \left[\left(\frac{0,0361}{3773}\right) \cdot (53585,09) \cdot (4,32)\right]^{2/3}}$$

$$Nu = 3,7947$$

Se despeja el coeficiente de pérdidas de calor por convección ( $h_1$ ) de la ecuación de Nusselt así:

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \quad \text{despejando } h \quad h = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad (13)$$

Reemplazando:

$$h_1 = \frac{(3,7947) \cdot (0,631)}{0,0361}$$

$$h_1 = 66,32 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

4.6.2. Cálculo coeficiente de convección externo ( $h_2$ ).

Se buscan las propiedades del aire a 17°C en la tabla de propiedades del aire del libro transferencia de calor y masa (Cengel & Ghajar, 2011).

$$k = 0,02514 \text{ (W/m} \cdot \text{°C)}$$

$$\text{Viscosidad cinemática } \nu = 1,516 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 0,7309$$

$$\rho = 1,204 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_p = 1,007 \text{ J/Kg} \cdot \text{K}$$

Como se desea calcular el coeficiente por convección ( $h_2$ ) externo, se calcula el número de Reynolds tomando la velocidad del viento de la región, la cual es de 2,08 m/s (IDEAM, 2018).

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (14)$$

Donde

V: Velocidad del viento

$\nu$ : Viscosidad cinemática del aire a 17°C

Sustituyendo:

$$Re = \frac{2,08 \cdot (0,0527)}{1,516 \cdot 10^{-5}}$$

$$Re = 7230,6$$

Teniendo el número de Reynolds se calcula el número de Nusselt así:

$$Nu = 0,3 + \frac{0,62 * Re^{1/2} Pr^{1/3}}{[1 + (\frac{0,4}{Pr})^{2/3}]^{1/4}} [1 + (\frac{Re}{282,000})^{5/8}]^{4/5} \quad (15)$$

Reemplazando

$$Nu = 0,3 + \frac{0,62 * (7230,6)^{1/2} (0,7309)^{1/3}}{[1 + (\frac{0,4}{0,7309})^{2/3}]^{1/4}} * [1 + (\frac{7230,6}{282,000})^{5/8}]^{4/5}$$

$$Nu = 45,43$$

Para calcular el coeficiente de pérdidas de calor por convección (h2) en el ambiente se tiene:

$$h = \frac{Nu.k}{D} \quad (16)$$

Donde:

k: Conductividad térmica del aire a 17 °C ( $W/m \cdot ^\circ C$ )

Reemplazando

$$h_2 = \frac{(45,43)(0,02514)}{0,0572}$$

$$h_2 = 19,96 \text{ } W/m^2 \cdot ^\circ C$$

Teniendo los dos coeficientes de transferencia de calor por convección (h1 y h2) se procede a calcular un coeficiente global de transmisión de calor, el cual analiza las pérdidas de calor por convección y conducción simultáneamente, siguiendo la ecuación de (Singh & Denis, 2002) se tiene:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{(r_2 - r_1)r_1}{k.rlm} + \frac{r_1}{h_2.r_2} \quad (17)$$

Donde:

U: Coeficiente de transferencia de calor global  $W/m^2 \cdot ^\circ C$

K: coeficiente de conductividad térmica de la tubería

rlm: radio logarítmico medio (m)

r1: Radio interno de la tubería

r2: Radio externo de la tubería

Para calcular rlm se tiene la siguiente ecuación:

$$rlm = \frac{r_2 - r_1}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (18)$$

Sustituyendo:

$$rlm = \frac{0,0286 - 0,01805}{\ln \frac{0,0286}{0,01805}} = 0,02292 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación de coeficiente de transmisión de calor global U:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{66,32} + \frac{(0,0286 - 0,01805)0,01805}{0,24 \cdot (0,02292)} + \frac{0,01805}{19,96(0,0286)}$$

$$U = 12,297 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Teniendo el coeficiente de transferencia de calor global (U), se procede a calcular las pérdidas de calor con la siguiente ecuación suponiendo que la temperatura en la pared externa del tubo es de 19 °C.

$$Q = U \cdot A(Tt - T\alpha) \quad (19)$$

Donde:

Q: Flujo de calor (W)

Tt: temperatura en la pared externa del tubo °C

Tα: Temperatura ambiente °C

Sustituyendo:

$$Q = (12,297) \cdot (2)(\pi)(0,01805)(3773)(19 - 17)$$

$$Q = 10523,81 \text{ W}$$

Esta es la transferencia de calor que se presenta en la tubería de PPR por medio de los dos mecanismos de transferencia de calor (conducción y convección interna como externa)

Teniendo la transferencia de calor total (Q) se procede a despejar la temperatura de salida de la ecuación universal de transferencia de calor así:

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) \quad (20)$$

Donde:

$\dot{m}$ : Flujo másico

$C_p$ : calor específico del agua a 40 °C

$T_e$ : temperatura de entrada al sistema (°C)

$T_s$ : temperatura de salida del sistema (°C)

Despejando:

$$T_s = T_e - \frac{Q}{\dot{m} \cdot C_p} \quad (21)$$

Flujo másico es igual a:

$$\dot{m} = \dot{v} \rho = 1 \frac{l}{s} * \left( 992,7 \frac{kg}{m^3} \right) \left( \frac{1 m^3}{1000l} \right) = 0,9927 kg/s$$

Reemplazando se obtiene:

$$T_s = 39 - \frac{10523,81}{(0,9927)(4179)}$$

$$T_s == 36,46 \text{ } ^\circ C$$

Teniendo en cuenta los supuestos de ambientales de la zona, la temperatura a la que se espera que el agua llegue a la finca “Avenida nueva” de la vereda Villa Losada será de 36,46 ° C. Esta conducción presentará una pérdida de 2,54 °C, por lo tanto se dice que según estos cálculos, la temperatura del agua se conserva y este proyecto es viable

#### **4.7.Diseño hidráulico de la tubería.**

##### 4.7.1. Empleando EPANET.

El dimensionamiento de la red consiste en determinar los diámetros de las tuberías que las forman, para satisfacer los requisitos de caudal y presión en el punto donde se desea conducir el agua. Para esta labor se utilizó el software EPANET 2.0 el cual ha sido desarrollado por la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EE.UU con el fin de disponer de una herramienta para el cálculo, entre otras cosas, del comportamiento hidráulico en sistemas de distribución de agua (Rossman, 2006).

Para el cálculo de las pérdidas de presión en la tubería y determinar la línea piezométrica, se utilizó en el software la siguiente metodología de cálculo:

Ecuación de Perdidas de carga de Darcy-Weisbach.

$$Hl = f \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (22)$$

Donde:

HL = pérdidas de carga (m)

g = aceleración de la gravedad

C = coeficiente de rugosidad

d = diámetro de la tubería (mm)

L = longitud de la tubería (m)

v = velocidad del caudal (Litros/segundo)

f = factor de fricción (adimensional)

El factor de fricción es una función de (e/d) y el número de Reynolds, donde "e" es el coeficiente de rugosidad con unidades de longitud (Rossman, 2006). La fórmula anterior puede ser utilizada con cualquier conjunto coherente de unidades.

Se considera para los cálculos hidráulicos, los diámetros reales de las tuberías de PPR PN16, ya que es la más adecuada para transportar agua con temperaturas elevadas (39°C), como también se consideran la viscosidad cinemática ( $0.661 \cdot 10^{-6} m^2/s$ ), y peso específico (0.9730 N/m<sup>3</sup>) (Streeter, Wylie, & Bedford, 2000). Propiedades de agua que cambian a diferente temperatura.

Para convertir este modelo en un caso más realista y llevar a cabo la simulación en periodo extendido, se creó una Curva de Modulación para hacer que las demandas en los nudos varíen de forma periódica a lo largo del día. Para este caso, se aplicó una curva de modulación con un intervalo de 1 hora, de modo que la demanda cambie 24 horas al día en horario militar. De las 0 a las 6 se maneja un coeficiente de 0,6 el caudal de demanda. De 7 a 13 horas un coeficiente de 0,8. De 14 a 22 horas un coeficiente de 1 y de 22 a 24 horas se vuelve al coeficiente de 0,6. Esto se determinó de acuerdo a una posible demanda de agua al momento de ser utilizado. La figura 10 muestra el comportamiento hidráulico realizado en Epanet, en el cual se puede observar las presiones en cada nudo.

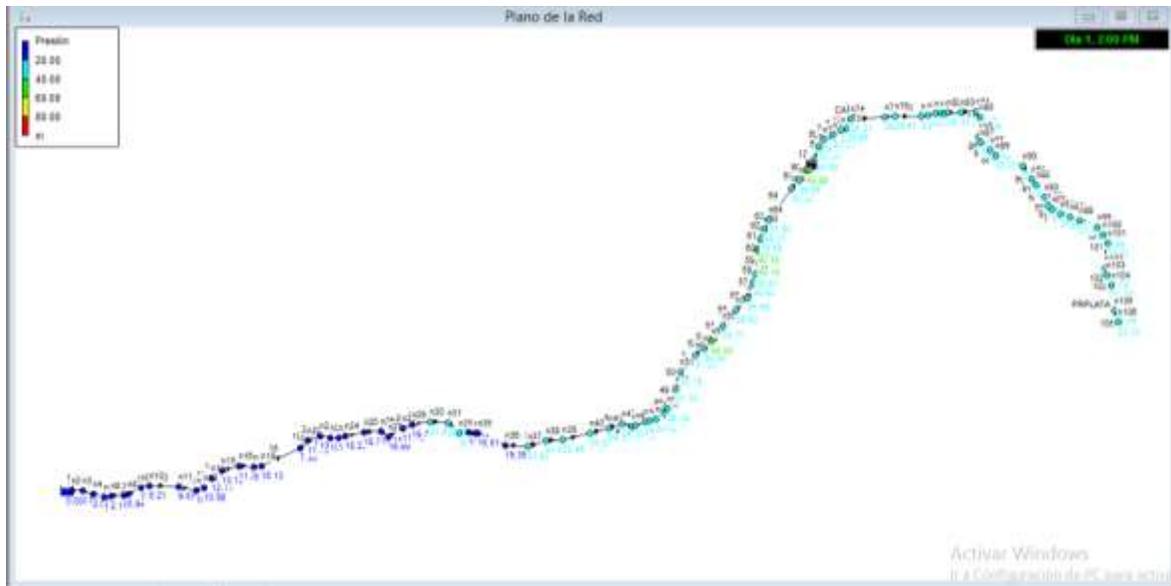


Figura 10. Modelo hidráulico de EPANET 2.0. (ANEXOS).

#### 4.7.2. Comportamiento hidráulico del diseño, empleando hojas de cálculo.

Para el cálculo hidráulico de la conducción de agua termal en una hoja Excel se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach junto con la ecuación de Blasius y la ecuación de Colebrook-White para determinar el factor de fricción (Saldarriaga, 2001), teniendo en cuenta la viscosidad cinemática para el agua a 39 °C. A continuación se muestra como se reemplaza la ecuación de Blasius en la ecuación de Darcy-Weisbach para mostrar la ecuación final en el cálculo de las pérdidas por fricción:

$$hf = f * \frac{l}{D} * \frac{V^2}{2g} = \text{Darcy Weisbasch} \quad (23)$$

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \text{Blasius} \quad \text{Dónde: Re: número de Reynolds} \quad (24)$$

$$Re = \frac{VD}{r} \quad \text{Dónde: V: velocidad del agua} \quad (14)$$

D: Diámetro de la tubería

r: viscosidad cinemática del agua a 39°C.

### Reemplazo la ecuación 25 en la ecuación 24

$$\bullet \quad F = \frac{0,3164}{\left(\frac{VD}{r}\right)^{0,25}} = \frac{0,3164}{\frac{V^{0,25} * D^{0,25}}{r^{0,25}}} = \frac{0,3164 * r^{0,25}}{V^{0,25} * D^{0,25}} \quad (25)$$

### Reemplazo de la ecuación 26 en la ecuación 23

$$\bullet \quad hf = \frac{0,3164 * r^{0,25}}{V^{0,25} * D^{0,25}} * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = 0,3164 * r^{0,25} * \frac{L}{D^{1,25}} * \frac{V^{1,75}}{2g}$$

$$\bullet \quad hf = \frac{0,3164 * r^{0,25}}{2g} * \frac{\left(\frac{4 * Q}{\pi * D^2}\right)^{1,75}}{D^{1,25}} * L$$

$$\bullet \quad hf = \frac{0,3164 * r^{0,25}}{2g} * \frac{4^{1,75} * Q^{1,75}}{\pi^{1,75} * D^{3,5}} * L$$

$$\bullet \quad hf = \frac{0,3164 * r^{0,25}}{2g} * \frac{4^{1,75} * Q^{1,75}}{\pi^{1,75} * D^{4,75}} * L$$

Según la tabla de propiedades del agua a diferentes temperaturas del libro de mecánica de fluidos novena edición, se determinó que el agua a una temperatura de 39 °C tiene una viscosidad cinemática de:  $\nu^{39^\circ C} = 0,661 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

$$\bullet \quad hf = \frac{0,3164 * (0,661 * 10^{-6})^{0,25}}{2(9,81)} * \frac{4^{1,75} * Q^{1,75}}{\pi^{1,75} * D^{4,75}} * L$$

$$hf = 7,01747 * 10^{-4} * \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} * L \quad (26)$$

Con esta ecuación (27) se efectuaron los cálculos de pérdidas por fricción por metro lineal de tubería por el método de Blasius mostrados en la tabla 7.

Otra forma de determinar el factor de fricción es por el método de Colebrook-White, para esto se utilizó la siguiente ecuación (28).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left( \frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{251}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (27)$$

Donde:

F: factor de fricción

Re: número de Reynolds

D: diámetro

$\varepsilon$ : rugosidad relativa

Esta ecuación es recomendada para flujos que se encuentran en régimen turbulento ( $Re > 4000$ ) y tiene en cuenta la viscosidad del fluido, la rugosidad de la tubería y el diámetro (Saldarriaga, 2001). Para determinar el número de Reynolds se utiliza la siguiente ecuación (14):

$$Re = \frac{VD}{\mu} \quad (14)$$

Donde:

Re: Numero de Reynolds

V: Velocidad (m)

D: Diámetro (m)

$\mu$ : viscosidad del agua a 39°C

Reemplazando se obtiene:

$$Re = \frac{(0,9770)(0,0361)}{0,661 * 10^{-6}} = 53358,1$$

Como  $Re > 4000$  se dice que el régimen de flujo que maneja esta tubería es turbulento.

Para realizar el cálculo se realiza en una tabla Excel reemplazando la ecuación de Colebrook-White, se calcula el número de Reynolds y la rugosidad relativa. El cálculo del factor f se realiza de forma iterativa hasta que el número converge y se repite. El cálculo arroja como resultado para el factor de fricción  $f=0,02180381$  y se reemplaza en la ecuación de Darcy-Weisbach para quedar de la siguiente forma:

$$Hf = 0,02180281 \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (28)$$

Esta ecuación es la que se utiliza para determinar el factor de fricción por el método de Colebrook-White mostradas en la tabla 7. En esta también se determinaron las cotas piezométricas y la presión disponible en la red de conducción y se obtuvieron los siguientes resultados.

*Tabla 7. Datos del diseño hidráulico de la conducción de agua termal.*



Principal Bajando	86	87	16,02	1249,43	1248,21	1,22	16,07		16,07	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,45	1262,06	1261,60	29,62	30,39	42,12	43,22	29,62	30,84	0,472	28,88	29,63
Principal Bajando	87	88	34,31	1248,21	1246,01	2,20	34,38		34,38	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,96	1261,60	1260,64	30,39	31,63	43,22	44,98	30,39	32,59	1,010	29,63	30,82
Principal Bajando	88	89	21,41	1246,01	1245,58	0,43	21,54		21,54	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,60	1260,64	1260,04	31,63	33,45	44,98	47,57	31,63	34,06	0,633	30,82	32,62
Principal Bajando	89	90	76,67	1245,58	1244,53	0,95	76,68		76,68	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	2,15	1260,04	1257,88	33,45	30,35	47,57	43,16	33,45	32,50	2,253	32,62	29,42
Principal Bajando	90	91	41,34	1244,53	1238,85	5,68	41,73		41,73	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	1,17	1257,88	1256,71	30,35	34,86	43,16	49,57	30,35	36,03	1,226	29,42	33,87
Principal Bajando	91	92	20,03	1238,85	1239,27	0,42	20,03		20,03	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,56	1256,71	1256,15	34,86	33,88	49,57	48,18	34,86	34,44	0,589	33,87	32,86
Principal Bajando	92	93	40,84	1239,27	1238,99	0,28	40,84		40,84	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	1,15	1256,15	1255,01	33,88	33,01	48,18	46,95	33,88	34,16	1,200	32,86	31,94
Principal Bajando	93	94	25,41	1238,99	1237,30	1,69	25,47		25,47	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,71	1255,01	1254,29	33,01	33,99	46,95	48,33	33,01	34,70	0,748	31,94	32,88
Principal Bajando	94	95	14,19	1237,30	1237,33	0,03	14,19		14,19	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,40	1254,29	1253,89	33,99	33,56	48,33	47,72	33,99	33,96	0,417	32,88	32,44
Principal Bajando	95	96	24,54	1237,33	1235,84	1,49	24,58		24,58	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,69	1253,89	1253,20	33,56	34,36	47,72	48,86	33,56	35,05	0,722	32,44	33,20
Principal Bajando	96	97	26,97	1235,84	1234,94	0,90	26,99		26,99	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,76	1253,20	1252,45	34,36	34,50	48,86	49,07	34,36	35,26	0,793	33,20	33,31
Principal Bajando	97	98	27,58	1234,94	1234,16	0,78	27,59		27,59	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,77	1252,45	1251,67	34,50	34,51	49,07	49,07	34,50	35,28	0,811	33,31	33,28
Principal Bajando	98	99	51,95	1234,16	1234,79	0,63	51,95		51,95	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	1,46	1251,67	1250,21	34,51	32,42	49,07	46,11	34,51	33,88	1,527	33,28	31,12
Principal Bajando	99	100	25,27	1234,79	1232,28	2,51	25,39		25,39	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,71	1250,21	1249,50	32,42	34,22	46,11	48,66	32,42	34,93	0,746	31,12	32,89
Principal Bajando	100	101	24,51	1232,28	1232,25	0,03	24,51		24,51	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,69	1249,50	1248,81	34,22	33,56	48,66	47,73	34,22	34,25	0,720	32,89	32,20
Principal Bajando	101	102	67,63	1232,25	1229,72	2,53	67,68		67,68	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	1,90	1248,81	1246,92	33,56	34,19	47,73	48,62	33,56	36,09	1,989	32,20	32,74
Principal Bajando	102	103	19,82	1229,72	1229,01	0,71	19,83		19,83	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,56	1246,92	1246,36	34,19	34,35	48,62	48,84	34,19	34,90	0,583	32,74	32,87
Principal Bajando	103	104	30,55	1229,01	1228,69	0,32	30,55		30,55	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,86	1246,36	1245,50	34,35	33,81	48,84	48,08	34,35	34,67	0,898	32,87	32,29
paso rio	104	105	68,68	1228,69	1235,99	5,30	68,89		68,89	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	1,95	1245,50	1243,57	33,81	26,58	48,08	37,79	33,81	28,51	2,024	32,29	24,96
punto final	105	106	31,55	1235,99	1234,28	0,29	31,55	Válvula de bola	31,55	12	150	1 1/2	PPR PN16	11	0,03610	0,00102	1,0000	0,9770	0,0281	0,89	1243,57	1242,68	26,58	25,40	37,79	36,12	26,58	26,29	0,927	24,96	23,75
							3773,07														105,86								110,870		

DH: diferencia de alturas

Vél: velocidad

Long: longitud

pres: presión

Coef. Fricción: coeficiente de fricción de tubería

Q: Caudal

DI: Diámetro interior de tubería

Dia. Diámetro

A: Área transversal de tubería

La tabla 7 muestra la información utilizada en el diseño de la tubería que se empleará para la conducción de aguas termales, donde se analiza que para transportar 1 l/s de agua, se selecciona una tubería de un diámetro de 1-1/2 pulgadas, en caída constante para toda la trayectoria. Esta será instalada de forma superficial sobre el suelo y llevará una válvula de alivio de presión, tres válvulas ventosas y tres válvulas de bola.

Al comparar los resultados de las pérdidas por fricción calculadas por los dos métodos (Blasius y Colebrook-White) se puede concluir que las dos ecuaciones no presentan diferencias significativas ya que la diferencia es tan solo de 5.01 metros. Por el método de Blasius las pérdidas totales son de 105,86 metros y para el método de Colebrook-White son de 110,87 metros. A continuación las figuras 11, 12 y 13 muestran de forma gráfica los resultados obtenidos en esta tabla.

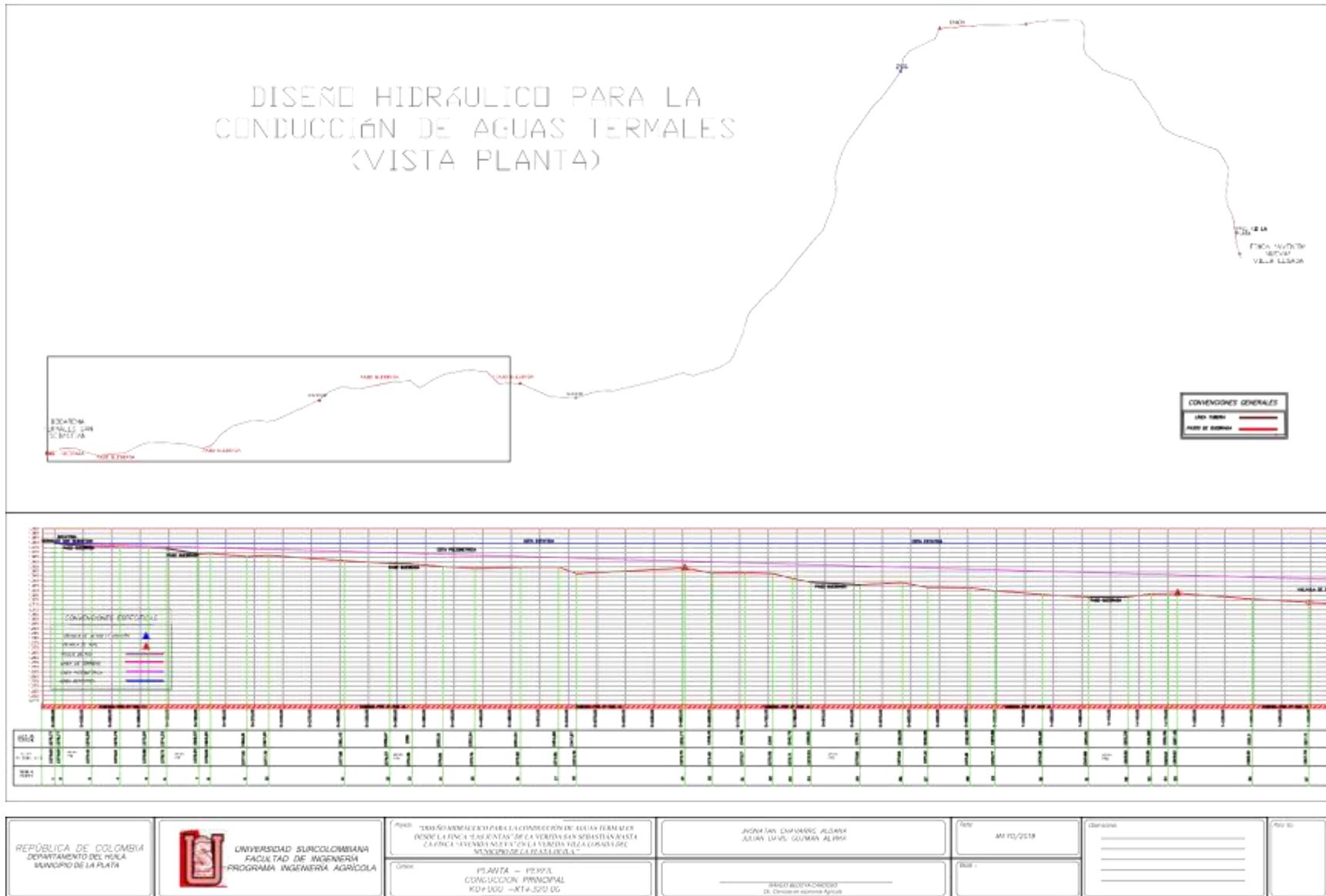


Figura 11. Perfil longitudinal y líneas de energía. (Tramo A).



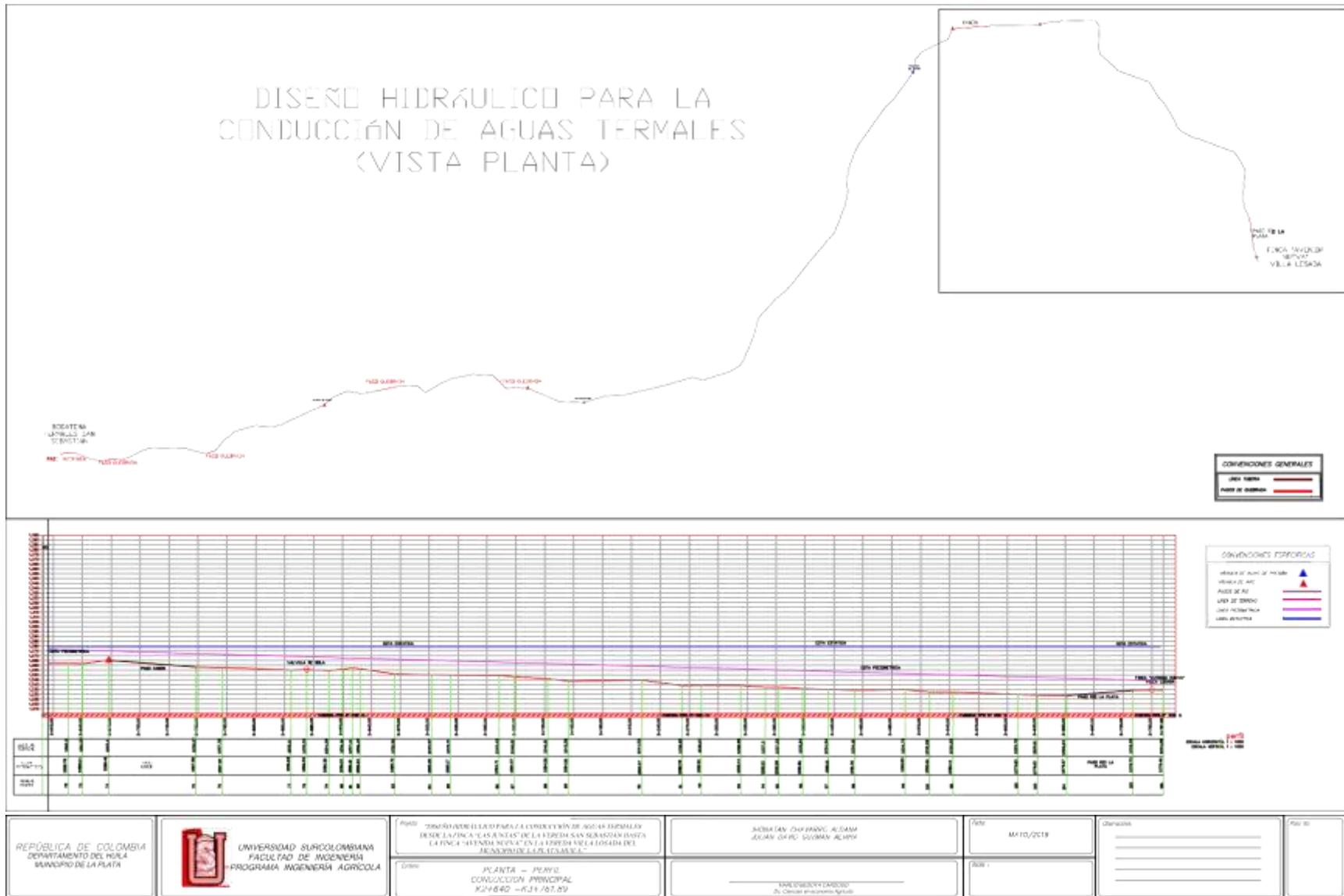


Figura 13. Perfil longitudinal y líneas de energía. (Tramo C).

Las figuras 11, 12 y 13 muestran el perfil longitudinal del levantamiento topográfico realizado y las líneas de energía calculadas en el diseño hidráulico, (Línea estática, línea piezométrica y la cota del terreno-tabla 7) en tres tramos diferentes. (Tramo A, Tramo B y Tramo C). En este se puede observar, que en todo el trayecto se presentan siete pasos de color rojo, los cuales se tienen que realizar por vía aérea por la variabilidad del terreno. De estos tramos, cinco son pasos de quebrada (presentados en el tramo A), otro presenta el paso de “cañón” y el último representa el paso del río la Plata (Tramo C).

También se muestra que a medida que la línea de la cota del terreno desciende, la línea piezométrica aumenta su presión con respecto a la cota del terreno y que en el punto donde ésta presión es demasiado grande (punto intermedio, tramo B) (41,59 m.c.a.) se opta por colocar una válvula de alivio de presión que la reduzca a 30 m.c.a. y que la presión final no sobrepase la presión máxima de trabajo de la tubería recomendada por la fábrica (163,12 m.c.a.); También se puede observar que se colocan tres válvulas de aire en los puntos donde el terreno asciende, para evitar daños en el llenado y vaciado de la tubería y, evitar la reducción en el caudal por bolsas de aire. Como también se usan tres válvulas de bola para hacer más prácticas las labores de mantenimiento. La presión final a la que llega a la finca “Avenida nueva” será de 23,75 m.c.a.

Los cálculos realizados entre el software de Epanet y la hoja de cálculo Excel no presentan diferencias significativas ya que en el punto donde la presión es más alta, en el punto anterior a la válvula de alivio, la presión en el cálculo de Epanet es de 40,88 m.c.a. y para la hoja de cálculo es de 41,59 m.c.a. La diferencia es tan solo de 0,71 m.c.a. La velocidad tampoco presenta diferencias significativas debido a que en Epanet es de 0,98 m/s y en Excel es de 0,977 m/s. por lo tanto para agilidad en el proceso de cálculo y menores errores humanos en el diseño, se recomienda usar el software de Epanet para el diseño de un sistema de conducción teniendo en cuenta las propiedades físicas del agua a diferentes temperaturas.

#### 4. 8 Presupuesto

A continuación, la tabla 8 presenta el presupuesto de las cantidades de materiales y una cotización del trabajo de unión de la tubería por el método de termofusión adquirido por la compañía COREMA S.A.S TEPCO del diseño hidráulico para la conducción de aguas termales, aclarando que este no contempla la ejecución, ni materiales de las obras civiles.

Tabla 8. Presupuesto.

<b>PRESUPUESTO DISEÑO HIDRAULICO PARA LA CONDUCCION DE AGUA TERMAL</b>					
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANT</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL</b>
<b>1</b>	<b>CONDUCCION HIDRAULICA</b>				
	Tubería PPR 52,7mm (tramos por 12 metros) color azul	TUBO	315	\$ 111.600	\$ 35'154.000
	Válvula reductora de presión	UND	1	\$ 755.000	\$ 755.000
	Válvula ventosa Combinada C30	UND	3	\$ 342.000	\$ 1'026.000
	Válvula de bola pesada 2"	UND	3	\$ 195.000	\$ 585.000
	Suma Parcial				\$ 37'520.000
<b>2</b>	<b>TRABAJO DE TERMOFUSION</b>				
	Planta Eléctrica de 5500 Watt en obra	UND	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
	Trabajo de termo fusión con un operario, herramientas y máquina, para pegar a termo fusión a Soket en la ciudad de La Plata (Huila)	UND	1	\$ 8.600.000	\$ 18.600.000
	Suma parcial				\$ 22'100.000
<b>3</b>	<b>CONSTRUCCION BOCATOMA</b>				
	Mortero resistencia 3000 psi	M3	1	\$85.000	\$ 85.000
	rejilla de diseño (10x8 cm)	UND	1	\$30.000	\$ 30.000
	Ladrillo macizo	M2	2	\$20.000	\$ 40.000
	Descapote	M3	0.5	\$30.000	\$ 15.000
	Mano de obra (jornal)	UND	2	\$35.000	\$ 70.000
	Suma parcial				\$ 240.000
	<b>Subtotal</b>				\$ 59'860.000

<b>IVA</b>	\$ 11'373.400
<b>Total</b>	\$ 71'233.400

NOTA: El precio de la unión de la tubería PPR por termofusión la proporcionó la empresa COREMA S.A.S. TEPCO, teniendo en cuenta las siguientes observaciones:

- El cliente debe colocar 2 ayudantes en obra para el acarreo de la tubería y la máquina.
- El operario trabaja de lunes a sábado en horario de 7 AM a 5 PM.
- Esta cotización no incluye obra civil, no incluye soportes para tubería aérea, no incluye costos de instalación de tuberías en alturas.
- El cliente debe proveer un lugar para guardar la máquina y las herramientas en el trayecto de la obra.
- De no necesitar la planta eléctrica, el cliente debe proveer energía eléctrica a 110 voltios en el trayecto de la obra.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

- La longitud total de la trayectoria de la tubería desde el nacimiento en la finca “Las Juntas” de la vereda San Sebastián hasta la finca “Avenida Nueva” de la vereda Villa Losada del municipio de la plata es de 3,773.07 metros con una diferencia de alturas de 145.49 metros.
- Teniendo en cuenta las características de oferta hídrica del afluente, se determina como obra de captación la bocatoma tipo Dique-Toma como la mejor opción.
- La trayectoria de la tubería transportará un caudal nominal de 1<sup>l</sup>/<sub>s</sub> de agua termal por efecto de la gravedad, ya que la cota inicial desde el nacimiento del afluente es de 1379.77 m.s.n.m. y la cota más baja donde queda el vertedero es de 1234.28 m.s.n.m. teniendo como resultado 145.49 metros de diferencia de nivel, generando la presión deseada.
- Se determina que por las características, el precio y la facilidad de adquisición, la tubería de Polipropileno Random (PPR) de la compañía COREMA S.A.S. TEPCO es la más adecuada para la conservación y conducción del agua termal en una zona en la que va a estar a la intemperie.
- Se comprueba que para los cálculos hidráulicos de la conducción del agua termal, es necesario tener en cuenta las propiedades de viscosidad cinemática y densidad del agua para el cálculo de la tubería.
- Los métodos utilizados para determinar el diámetro de la tubería no presentan diferencias significativas, ya que utilizando EPANET, el punto de presión más alta es de 40,88 m.c.a y en el cálculo realizado por Excel es de 41,59 m.c.a. dando una diferencia total de 0,71 m.c.a.
- Siguiendo el criterio de la pendiente hidráulica, el diámetro de la tubería seleccionado para conducir 1 l/s de agua termal, es de 1 1/2” pulgadas para toda la trayectoria.
- Según los cálculos realizados, la temperatura que pierde el agua desde la bocatoma hasta el punto final en la finca “Avenida nueva” será de 2,54 ° C; la temperatura de llegada es 36,46 °C, por lo tanto se dice que el proyecto es viable.
- El valor parcial del costo de la tubería y los costos de unión por termofusión realizados por la compañía COREMA S.A.S. TEPCO es de \$ 71'233.400 sin tener en cuenta obras civiles ni soportes para tuberías aéreas.

## 6. Referencias bibliográficas

- AIPC. (2015). Agenda Interna-Plan Regional de Competitividad del Huila, 305.
- Aparicio, F. J. (1992). *FUNDAMENTOS I DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE*. (E. Limusa, Ed.) (Primera Ed). México. Retrieved from [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos\\_de\\_hidrologia\\_de\\_superficie\\_-\\_Aparicio.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf)
- Blansol, I. (2017). Manual tecnico- tubería Multicapa, 48.
- Carreño, C. (1992). Baños privados y termas públicas en el Lugo romano. *Espacio, Tiempo y Forma, Serie II, Historia Antigua*, 337–350. <https://doi.org/10.5944/etfii.5.1992.4198>
- Castillo, A. (2016). Mecánica de Fluidos\_ Perdidas por fricción en tubería. Retrieved May 31, 2019, from file:///E:/termales/Mecánica de Fluidos\_ Perdidas por fricción en tubería.html
- Cengel, Y. a. (2007). *Transferencia de calor y masa: Un enfoque práctico*. Mc Graw Hill (Tercera ed, Vol. Tercera Ed). México.
- Cengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa: Fundamentos y aplicaciones*. (Cuarta Edición). México.
- Corcho, F., & Duque, J. (1993). *Acueductos. Teoría y Diseño*. Medellín: Sello Editorial.
- Cortés, L., Rodríguez, G., & Méndez, L. (2008). *Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones*. Santiago de Queretano- Mexico. Retrieved from [https://cenam.gob.mx/simposio2008/sm\\_2008/memorias/S4/SM2008-S4C2-1100.pdf](https://cenam.gob.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/S4/SM2008-S4C2-1100.pdf)
- FAO. (2017). Capítulo 4 - Caudal. Retrieved January 25, 2019, from <http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s06.htm>
- FGS, N. F. G. S. (2018). Fiberglass – Systems Tuberías de fibra de vidrio para agua , geotermia , petróleo y gas, 16.
- García, F. (1994). *Curso Básico De Topografía: Planimetría, Agrimensura, Altimetría*. México.
- Giménez, T., & Ros, M. (2009). *SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)*. Retrieved from [https://webs.um.es/bussons/GPSresumen\\_TamaraElena.pdf](https://webs.um.es/bussons/GPSresumen_TamaraElena.pdf)
- Hernandez, L. (2011). *MANUAL DE OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN TOTAL*. Retrieved from [https://www.abreco.com.mx/manuales\\_topografia/teodolitos\\_estaciones/Manual de Operacion de Estacion Total.pdf](https://www.abreco.com.mx/manuales_topografia/teodolitos_estaciones/Manual de Operacion de Estacion Total.pdf)
- Huertas, E. Z., & Fernandez, L. J. (2016). Implementación y Manejo de las válvulas reductoras de presión con control dinámico , en redes de distribución, 6.
- IDEAM. (2018). Atlas Interactivo - Climatológico - IDEAM. Retrieved September 1, 2019, from <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- IGAC, I. G. A. C. (2007). Capítulo 4 - SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL -GPS. *Mejora De Los Sistemas De Cartografía Del Territorio Colombiano*, 30. Retrieved from [http://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/planificacion/GEOMATICA/GPS/GPS\\_Modulo.pdf](http://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/planificacion/GEOMATICA/GPS/GPS_Modulo.pdf)
- Iglesias, P. L., Fuertes, V. S., García, F. J., & Martínez, F. J. (2016). *Tecnología y Ciencias del*

- Agua. Tecnología y ciencias del agua* (Vol. 7). Valencia-España: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000100057](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000100057)
- La Plata(H), A. M. de. (2018). Alcaldía Municipal de La Plata Huila: Geografía. Retrieved from <http://www.laplata-huila.gov.co/municipio/geografia>
- Lopes, E. (2005). EL DESARROLLO TURÍSTICO DE LA REGIÓN DE AGUAS TERMALES DE GOIÁS, BRASIL, *16*, 105–121. Retrieved from <https://revistas.um.es/turismo/article/view/18361/17721>
- Materon, H. (1997). *Obras Hidraulicas Rurales*. (E. de la U. del V. De, Ed.). Santiago de Cali-Colombia. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/124647890/Obras-Hidraulicas-Rurales-Hernan-Materon>
- Morales, N. (2014). *Aforo Del Caudal Conducido En La Acequia Del Ejido Parras Coahuila Por El Método Del Molinete GURLEY 622*. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro.” Retrieved from [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1865/51464/MORALES PEREZ%2C NORMA NOEMI\\_TESIS.pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1865/51464/MORALES PEREZ%2C NORMA NOEMI_TESIS.pdf?sequence=1)
- Óscar, J., & Angulo, G. (1991). Ecuación modificada de Colebrook-White.
- Pachas, R. (2009). *EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: USO DEL GPS Y ESTACIÓN TOTAL Surveying: Use of GPS and Total Station*. Trujillo-Venezuela. Retrieved from <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/academia/article/viewFile/6061/5866>
- Padilla, J. (2004). *TOPOGRAFÍA MODERNA CON ESTACIÓN TOTAL* (Vol. 5623). México. Retrieved from [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/12897/1/decd\\_4067.pdf](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/12897/1/decd_4067.pdf)
- Padilla, R., Morales, L. R., & Ríos, C. (2017). Unraveling the microbial and functional diversity of Coamo thermal spring in Puerto Rico using metagenomic library generation and shotgun sequencing. *Genomics Data*, *11*, 98–101. <https://doi.org/10.1016/j.gdata.2016.12.010>
- PAVCO. (2014). Manual Técnico; Tubosistemas, Construcción, 88.
- PAVCO. (2018a). Boshure PAVCO Tubosistemas SCH 80, (57 2), 2–5.
- PAVCO. (2018b). Ultratemp CPVC plus: Sistema en CPVC de última generación para la conducción de agua caliente, 3.
- Perez, G. (2010). *Capítulo 7: ANÁLISIS DE CAUDALES*. Retrieved from <http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia - caudales%282%29%282%29.pdf>
- Pérez, P. (2010). *Topografía* (Primera Ed). Medellín-Colombia: Textos Academicos.
- Rossmann, L. (2006). EPANET 2. Manual de usuario. *Media*, *806*(Enero), 1–92. Retrieved from <http://epanet.info/manuales/epanet-2-manual-de-usuario-espanol/>
- Saldarriaga, J. (2001). *HIDRÁULICA DE TUBERÍAS*. Santafé de Bogotá: Mc GrawGill.
- San Martín, J., & Armijo, M. (1990). Peloides en general. Características físicas, efectos biológicos e indicaciones terapéuticas. *Curas Balneárias y Climáticas, Talasoterapia y Helioterapia.*, 315–331. Retrieved from <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion->

bal/cap\_24\_peloides.pdf

Serrano, J. (2016). Uralita sistemas de tuberías.

Singh, P., & Denis, H. (2002). *Introducción a la Ingeniería de los alimentos* (Segunda ed). Orlando-Florida: Academic Press Inc.

Solari, F., & Rizzardì, S. (2010). Estacion Total. Retrieved March 2, 2019, from file:///C:/Users/Pc/Desktop/Cap6-EstacionTotal.pdf

Streeter, V., Wylie, B., & Bedford, K. (2000). *MECANICA DE FLUIDOS*. (E. Ariza, Ed.) (Novena). México: The McGraw-Hill companies.

Tepco, C. S. A. S. (2018). Tepco: Tuberías y Accesorios en Polietileno y Polipropileno, 11.

UAB, U. autonoma de B. (2016). Conducciones , válvulas y accesorios. *Capsule Corp*, 91.

## 7. Anexos

Tabla 9. Imágenes fotográficas del desarrollo del proyecto.

		
<p>Fuente de nacimiento del agua termal.</p>	<p>Canalización del agua para medición de caudal.</p>	<p>Medición de temperatura en la fuente.</p>
		
<p>Brote de agua termal.</p>	<p>Zona donde se realiza la medición topográfica.</p>	

		
<p>Lugar donde se desea llevar el agua termal.</p>	<p>Uso de estación total para la medición topográfica.</p>	<p>Ayudantes en la medición.</p>
		
<p>Medición de la trayectoria de la tubería.</p>	<p>Medición de la trayectoria de la tubería.</p>	<p>Medición de caudal.</p>