

# **UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA**



**DISEÑO HIDRÁULICO DE UNA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA  
POTABLE POR GRAVEDAD A LA POBLACIÓN DE ARTEAGA, MICH.**

## **TESIS DE LICENCIATURA**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**MARIO ALBERTO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

**DIRIGIDA POR**

**DR. BENJAMÍN LARA LEDESMA**

**MORELIA, MICHOACÁN, MARZO 2008**

# **ÍNDICE DE CONTENIDO**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1 SUMINISTRO DE AGUA Y FUENTES DE ABASTECIMIENTO

### 1.2 USOS DEL AGUA

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

#### *1.3.1 Justificación de la línea de conducción*

### 1.4 LOCALIZACIÓN DE LA LÍNEA

### 1.5 INFORMACIÓN GENERAL DE LA POBLACIÓN

#### *1.5.1 Nomenclatura*

#### *1.5.2 Historia*

#### *1.5.3 Localización*

#### *1.5.4 Extensión*

#### *1.5.5 Orografía*

#### *1.5.6 Hidrografía*

#### *1.5.7 Clima*

#### *1.5.8 Recursos naturales*

#### *1.5.9 Características y uso del suelo*

#### *1.5.10 Educación*

#### *1.5.11 Salud*

#### *1.5.12 Deporte*

#### *1.5.13 Servicios públicos*

#### *1.5.14 Vivienda*

#### *1.5.15 Medios de comunicación*

#### *1.5.16 Vías de comunicación*

#### *1.5.17 Fuentes de abastecimiento de agua en el municipio*

## 2. FUENTES DE ABASTECIMIENTO, OBRAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO

### 2.1. SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO

#### *2.1.1. El manantial como fuente de abastecimiento*

### 2.2. CAPTACIÓN DEL AGUA

### 2.3. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA DEL MANANTIAL

#### *2.3.1 Aforo con vertedores*

#### *2.3.2 Aforo con molinete o correntómetro*

#### *2.3.3 Aforo con trazadores*

#### *2.2.4 Aforo con un método indirecto (haciendo uso de la ecuación de Manning)*

#### *2.3.5 Aforo en el manantial La Caña*

### 2.4. TANQUE DE ALMACENAMIENTO

## 3. BASES DEL DISEÑO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

### 3.1. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

#### *3.3.1 Caudal de diseño*

#### *3.3.2 Presiones de diseño*

- 3.3.3 *Tipos de tubería*
- 3.2 LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN
  - 3.2.1 *Fórmula general de pérdidas por fricción*
  - 3.2.2 *Factor de fricción para tubos lisos o rugosos en zona laminar*
  - 3.2.3 *Factor de fricción para tubos lisos en zonas de transición o turbulenta*
  - 3.2.4 *Factor de fricción para tubos rugosos en zonas de transición o de turbulencia*
  - 3.2.6 *Factor de fricción para tubos rugosos en zona turbulenta*
  - 3.3.4 *Diagrama universal de Moody*
- 3.1 PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO HIDRÁULICO

## **4. MODELACIÓN DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

### **4.2 EPANET COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO**

- 4.2.1 *¿Qué es Epanet?*
- 4.2.2 *Análisis hidráulico*
- 4.2.3 *Simulación hidráulica*

### **4.3 OTROS PROGRAMAS DE DISEÑO**

- 4.3.1 *PIPESIM*
- 4.3.2 *Programa Ariete*
- 4.3.3 *Programa SCAD-RED*
- 4.3.4 *Cálculo del diámetro económico*
- 4.3.5 *Evaluación multicriterio*

### **4.4 PLANTEAMIENTO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN**

- 4.4.1 *Primera alternativa*
- 4.4.2 *Segunda alternativa*

### **4.5 RESULTADOS OBTENIDOS**

- 4.5.1 *Resumen de los nudos y tramos de la primera opción propuesta en Epanet*
- 4.5.2 *Resumen de los nudos y tramos de la segunda opción propuesta en Epanet*

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

- Anexo 1. CATÁLOGO DE TUBERÍAS (POLIETILENO Y ACERO)
- Anexo 2. COTIZACIÓN DE LOS CONCEPTOS CONSIDERADOS EN LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN
  - A-2.1 *Catálogo de conceptos de la primera alternativa*
  - A-2.2 *Catálogo de conceptos de la segunda alternativa*
- Anexo 3. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROGRAMA EPANET
  - A-3.1 *Informe de la línea en la primera alternativa*
  - A-3.2 *Informe de la línea en la segunda alternativa*
- Anexo 4. ARCHIVO FOTOGRÁFICO

Anexo 5. PLANOS

A-5.1 *Planta de la línea de conducción (propuesta 1)*

A-5.2 *Planta de la línea de conducción (propuesta 2)*

A-5.3 *Perfil de la línea de conducción*

A-5.4 *Obra de toma*

# 1

## ANTECEDENTES

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1 SUMINISTRO DE AGUA Y FUENTES DE ABASTECIMIENTO

El agua como componente principal de la materia viva y elemento indispensable para el bienestar social y desarrollo económico del país es un recurso limitado que debe ser cuidado y aprovechado de manera racional, ya que para poder hacer uso de este vital líquido cada día se requiere de mayor capital humano, equipo especializado, recursos económicos, etc., ya sea para excavar y extraer de grandes profundidades el agua y/o movilizarla a través de trayectos cada vez mayores, con lo que se propicia el alza de los costos de producción.

En la antigüedad los poblados no necesitaban de obras de ingeniería para hacer uso del agua, puesto que cazadores y nómadas acampaban cerca de fuentes naturales de agua fresca y las poblaciones estaban tan distantes unas de otras que la contaminación del agua no parecía ser un problema importante. Una vez que se desarrolló la vida en comunidades y aldeas que dependían de la agricultura, el suministro de agua para los habitantes y para el riego se volvió un problema. Los romanos fueron los primeros en darse cuenta del problema al ver que sus ciudades requerían del suministro del vital líquido, lo que los llevó a construir una extensa red de acueductos que traían agua de regiones montañosas a los valles donde se encontraban emplazadas las aldeas y ciudades. Con la caída del Imperio Romano decayó el uso de acueductos para el transporte de agua y durante varios siglos la colección de agua se hizo a través de manantiales locales.

Con el invento del equipo de bombeo se propició la posibilidad del desarrollo de sistemas de agua con suministro desde regiones alejadas de las ciudades. Aunado al bombeo del agua a partes altas de las poblaciones para su posterior distribución por gravedad, se popularizó el uso de bombas para la extracción del agua de cada vez mayores profundidades en el subsuelo, generándose así la explotación de los mantos acuíferos, convirtiéndose estos en otra fuente de abastecimiento, pero por el elevado costo de tener que extraer el agua con el transcurso del tiempo de profundidades cada vez mayores, conlleva a la elevación del costo de producción.

Viéndolo desde el punto de vista económico, se volvía a que la captación de agua superficial y/o de manantiales cercanos a los poblados constituía la mejor opción de una buena fuente de suministro del agua. Para el abastecimiento de agua por medio de tuberías se experimentó a mediados del siglo XVI con el hierro fundido en primera instancia, teniendo éste gran éxito debido a su bajo costo de producción, lo que lo convirtió en el material predilecto para redes y líneas de conducción en los sistemas de agua potable.

Recientemente se ha visto que en regiones en donde se cuenta con un suministro deficiente del líquido se ha optado por crear una nueva fuente de abastecimiento, siendo ésta el agua de mar que, por medio de procesos de desalinización, convierten en agua potable el agua del vasto océano. Tales procesos son, en la actualidad, muy caros de realizar, pero tendrán que llevarse a cabo si es que se pretende dotar de agua potable a regiones tan secas como las zonas desérticas.

Aunado al suministro de agua, en épocas recientes el ingeniero se ha visto en la necesidad de no solo dotar de agua, sino de su entrega en condiciones tales que ésta esté

libre de contaminantes sólidos o bacteriológicos, que permitan hacer uso de ella en viviendas, campos de riego e industrias tomando en cuenta un criterio de potabilización mínima al momento de su entrega. Esto ha conllevado al perfeccionamiento de métodos de tratamiento, anteriormente limitados a una simple filtración del agua, que han disminuido en forma considerable el riesgo de enfermedades endémicas.

## **1.2 USOS DEL AGUA**

La dotación de agua potable por medio de un sistema de suministro del líquido es ampliada, o en su defecto creada para procurar la entrega de un volumen de agua tal que satisfaga las necesidades de consumo tanto de la población en general, la industria, el campo y el hogar. En general, las instalaciones que sean diseñadas para hacer un uso correcto del suministro de agua deberán constar de varias obras, como son: captación, conducción, regularización y suministro.

Con el desarrollo de proyectos afines se pretende estimar que cantidad de agua será consumida en el sector al cual se le pretenda dotar con el servicio; cuando se trata de una ampliación de las fuentes de abastecimiento, entonces se pueden tomar como punto de referencia valores promedio de consumo registrados con antelación y así, de esta manera, se puede tener una mayor certeza en saber cual de los sectores (doméstico, público, industrial, campo, etc.) es el que tiene mayor demanda y deficiencia.

Para asegurar el servicio continuo a la población en general de tomas para extinción de incendios y uso sanitario en caso de alguna contingencia natural, debe tenerse mucho cuidado en la selección del equipo a utilizar en emergencias y suministro de agua, dándose máxima protección a las fuentes de potencia y bombas a utilizar en caso de un desastre, debiendo estar éstos disponibles para un funcionamiento continuo.

La división del suministro del agua para una población, de acuerdo al uso que se le de, puede ser: doméstico, industrial, comercial y público.

El uso doméstico es aquel que se da por medio de los consumidores de casas habitación, apartamentos, moteles y hoteles, es usada como: bebida, baño, lavabo, sanitario, culinario y riego de jardines. Este consumo representa entre el 30 y el 60% del consumo total del agua en una ciudad promedio.

El agua que es proporcionada para un uso comercial es utilizada en edificios de tiendas y oficinas para los sanitarios, limpieza y aire acondicionado, representando entre el 10 y el 30% del consumo total.

Entre los diversos usos industriales del agua dotada para una población tenemos: intercambio de calor, enfriamiento, limpieza, etc. Por lo general, entre más grandes son las ciudades, mayor es su industrialización, lo que conlleva a tener un porcentaje cada vez mayor de demanda de agua. Su porcentaje varía entre el 20 y el 50% de la cantidad utilizada por persona al día.

El uso público del agua está destinado para el riego de parques, edificios públicos y calles, combate de incendios, etc. Esta dotación contribuye entre un 5 y un 10% del volumen de agua requerido por persona.



Hay que tomar en cuenta también que en cada una de las fases de: captación, traslado, almacenamiento, distribución y uso, se tienen pérdidas del líquido, que representan, conservadoramente, entre el 10 y el 15% del consumo total, llegando a tener casos en los que estas pérdidas representan hasta un 40%, como sucede en la Ciudad de México.

### **1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El proporcionar agua para el consumo humano, ya sea para necesidades domésticas, industriales o de riego, es una necesidad latente y en constante demanda en todas las regiones del país, por lo que la construcción de la infraestructura necesaria para llevar el servicio a las comunidades que así lo requieran es y seguirá siendo una de las principales prioridades del gobierno.

Se sabe que en las regiones o centros poblacionales de mayor desarrollo se cuenta con una mejor infraestructura de abastecimiento de agua para los diferentes usos que a ella se le dan, esto debido a la constante demanda que esos lugares en específico requieren para llevar a cabo sus trabajos; en cambio, las poblaciones rurales y el campo en general carece de una adecuada planificación del desarrollo de la infraestructura necesaria para elevar el nivel de vida de los habitantes de esas regiones; aunado a esto, la poca infraestructura con que se cuenta, o se encuentra en decadentes condiciones de trabajo o, definitivamente, su uso es nulo ya.

Velar por el equilibrio, uso racional y una buena distribución de los recursos con los que cuentan las diferentes municipalidades que enfrentan el problema de un rezago en la implementación de infraestructura generadora de fuentes de abastecimiento de agua para sus poblaciones es el reto al que se enfrentarán los futuros gobernantes.

En este proyecto de tesis se propone el diseño de una línea de conducción en el municipio de Arteaga, Michoacán, en donde se pretende captar el agua del manantial “La Caña”, localizado aproximadamente a 30 km de la población de Arteaga, a la cual se pretende dotar con otra fuente de abastecimiento de agua. El diseño contempla los siguientes aspectos:

- Ubicación, reconocimiento y aforo en campo del manantial y planos tipo de la obra de captación
- Diseño hidráulico de la línea de conducción
- Modelación hidráulica de la línea
- Resultados

#### ***1.3.1. Justificación de la línea de conducción***

Dentro del presente tema de tesis se plantea el uso de una línea de conducción trabajando por gravedad como la fuente alterna del sistema de dotación de agua potable

para la comunidad de Arteaga, Mich. El planteamiento de una línea de conducción de agua desde la afluencia de los manantiales “La Caña” respecto al uso de pozos profundos, cercanos o dentro de la población, como fuentes alternas de dotación de agua potable a la población plantea los siguientes inconvenientes y ventajas, quedando justificado como:

- De acuerdo a estudios realizados en aguas subterráneas de la zona se encontró que el agua no es apta para consumo humano, por tener ésta disuelta altas concentraciones de minerales
- Los niveles freáticos del agua subterránea se encuentran a gran profundidad, lo que incrementaría el costo por concepto de excavación del pozo profundo y la extracción del agua
- Si se opta por la extracción de agua de mantos acuíferos, los costos anualizados por concepto de energía utilizada para la acción del equipo de bombeo serían cargados directamente al municipio y éste a su vez a la población que sea usuario del sistema de entrega domiciliaria
- De considerarse la extracción del agua de los mantos acuíferos subterráneos como la alternativa de suministro alternativo de agua, se tendría que implementar una potabilización previa a la entrega en la red de distribución domiciliaria, conllevando con esto un aumento en el costo de infraestructura de una planta potabilizadora de mayor especialización en el retiro de los minerales presentes en el agua extraída
- Implementar una línea de conducción por gravedad implica un ahorro por concepto de consumo anualizado de energía utilizado por el sistema de bombeo (ya sea el caso de un pozo profundo o de una línea de conducción por bombeo), que impacta de manera significativa a lo largo de la vida útil del sistema alternativo de dotación de agua, considerando únicamente como concepto ponderante que repercute en el costo total de la obra el de la compra, instalación y prueba de la tubería de la línea de conducción
- El inconveniente de la línea de conducción planteada es su extensa longitud y el uso de grandes diámetros para salvar lo accidentado de la topografía, reflejado en el diseño de la línea de conducción
- El presente tema de tesis plantea el implementar una línea de conducción desde la confluencia del manantial “La Caña” hasta un punto de entrega del líquido marcado como un tanque de regularización. Se escogió la confluencia de este manantial por ser el que mayor caudal aporta (150 l/s)

#### 1.4 LOCALIZACIÓN DE LA LÍNEA

El estado de Michoacán colinda al oeste con los estados de Colima y Jalisco, al N con los estados de Guanajuato y Querétaro, al E con los estados de Guerrero y Edo. de México y al S con el Océano Pacífico. (Figura 1).



Figura 1. Localización del Estado de Michoacán

El municipio de Arteaga, Mich. se encuentra enclavado dentro de la región Tierra Caliente del estado, al S de éste y colindante con los municipios de Lázaro Cárdenas, Aquila, Tumbiscatío, Coalcomán, La Huacana y Churumuco, así como con el estado de Guerrero al E del municipio. (Figura 2).



Figura 2. Localización del Municipio de Arteaga, Mich.

## **1.5 INFORMACIÓN GENERAL DE LA POBLACIÓN**

El presente proyecto de tesis está planteado para la localidad de Arteaga en el estado de Michoacán, perteneciente al municipio del mismo nombre, a unos 305 km de distancia de la capital del Estado. Este proyecto pretende dotar de una fuente más de abastecimiento de agua a la cabecera municipal. Los datos más relevantes de la cabecera municipal son los siguientes.

### **1.5.1 Nomenclatura**

Arteaga, era conocida anteriormente con el nombre de El Carrizal, sin embargo, en memoria del Gral. José Ma. Arteaga se le cambio el nombre por el que actualmente tiene.

### **1.5.2 Historia**

En 1887, por gestiones realizadas por un grupo de vecinos encabezados por los comerciantes Jorge Velázquez y J. Trinidad Morfín para que el Gobierno Estatal elevara a la categoría de pueblo, la ranchería El Carrizal.

Epifanio Reyes, Gobernador Interino del Estado de Michoacán de Ocampo, promulgó el decreto el día 3 de mayo, asignándole el nombre de El Carrizal de Arteaga, en recuerdo del ilustre General José Ma. Arteaga, quien sucumbió en defensa de la Independencia Nacional.

Seis años más tarde, el pueblo de El Carrizal de Arteaga fue elevado a la categoría de cabecera municipal según el decreto No. 46, aprobado por el Congreso del Estado el 30 de mayo de 1894. La nueva municipalidad se conformó por territorio cedido por las jurisdicciones de Ario y La Huacana.

### **1.5.3 Localización**

Se localiza en el S del Estado, en las coordenadas 18° 21' de latitud N y en los 102° 17' de longitud O, a una altura de 820 metros sobre el nivel del mar. Limita al N con La Huacana, al E con Churumuco y el Estado de Guerrero, al S con Lázaro Cárdenas y al O con Tumbiscatío, Aguililla, Coalcomán y Aquila.

### **1.5.4 Extensión**

Su superficie es de 3,454.71 km<sup>2</sup> y representa el 5.87% de la superficie del Estado.

### **1.5.5 Orografía**

La constituyen parte de la Sierra Madre del Sur, y los cerros del Agua, del Fraile, de la India, del Chicote y de la Batea.

### **1.5.6 Hidrografía**

La conforman el río Balsas, Tepalcatepec, Nexpa y la presa de Infiernillo.

### **1.5.7 Clima**

Es tropical con lluvias en verano y seco estepario. Tiene una precipitación pluvial anual de 546.5 milímetros y temperaturas que oscilan de 22.2 a 34.0°C.

### **1.5.8 Recursos naturales**

La superficie forestal de maderables es ocupada por pino, parota, caoba y primavera, y en el caso de la no maderable, por arbustos de distintas especies. Las principales ramas de la industria son los alimentos, productos de madera y corcho, excepto muebles. Extracción de plata, yacimientos de oro, plata, cobre, plomo, zinc, hierro, molibdeno y calizas.

### **1.5.9 Características y uso del suelo**

Los suelos del municipio datan del período mesozoico y corresponden principalmente a los del tipo castaño de pradera, café grisáceo y amarillo. Su uso es primordialmente ganadero y en menor escala forestal y agrícola.

### **1.5.10 Educación**

Tiene infraestructura educativa para los niveles de: preescolar, primaria, secundaria, bachillerato. Así mismo existen las escuelas normales para educadoras y para maestros.

### **1.5.11 Salud**

Cuenta con IMSS, hospital de la Secretaría de Salud, médicos y clínicas particulares. En el medio rural la atención se proporciona a través de las clínicas IMSS-Solidaridad.

### **1.5.12 Deporte**

Tiene canchas de basquetbol en el interior de las escuelas secundarias y preparatorias, sólo en algunas comunidades cuentan con campos de fútbol.

### **1.5.13 Servicios públicos**

La cobertura de servicios públicos de acuerdo a apreciaciones del H. Ayuntamiento está conformada por:

<b>Tabla 1. SERVICIOS PRESTADOS POR EL MUNICIPIO</b>	
<b>TIPO DE SERVICIO</b>	<b>% EN DESARROLLO</b>
Agua Potable	95
Drenaje y Alcantarillado	90
Electrificación	70
Pavimentación	40
Alumbrado Público	80
Recolección de Basura	90
Tránsito y Vialidad	50
Mercado	40
Rastro	70
Panteón	100
Cloración del Agua	60

Seguridad Pública	100
Parques y Jardines	60
Edificios Públicos	70

Fuete: Datos del municipio según INEGI, 1998

#### **1.5.14 Vivienda**

Predominan las construcciones de adobe y teja, y en menor proporción las de tabique y concreto, las de madera son muy pocas.

#### **1.5.15 Medios de comunicación**

Llega diariamente el periódico La Voz de Michoacán y de Lázaro Cárdenas llega el semanario El Quijote.

#### **1.5.16 Vías de comunicación**

Al municipio lo comunica la carretera federal Morelia-Lázaro Cárdenas y con el municipio de Tumbiscatío la carretera está pavimentada en un 60%, el resto es terracería; la comunicación con las comunidades es por caminos de terracería. Cuenta el municipio con aeropista fuera de servicio; servicio telefónico domiciliario en la cabecera municipal y casetas telefónicas en las localidades más importantes; oficina de correos y telégrafos solamente en la cabecera municipal. Se cuenta con el servicio de televisión nacional y se escucha radio AM y FM.

#### **1.5.17 Fuentes de abastecimiento de agua en el municipio**

De entre las fuentes que la Comisión Nacional del Agua tiene contempladas se ubican en la región se encuentran las siguientes:

<b>Tabla 2. FUENTES DE AGUA EN EL MUNICIPIO DE ARTEAGA, MICH.</b>	
<b>TIPO DE FUENTE</b>	<b>No. DE FUENTES EXISTENTES</b>
Pozos profundos	2
Manantiales	237
Otras fuentes subterráneas	2
Otras fuentes superficiales	13

Fuete: Datos de la Comisión Nacional del Agua, 2001

# 2

## **FUENTES DE ABASTECIMIENTO, OBRAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

## **2. FUENTES DE ABASTECIMIENTO, OBRAS DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

### **2.1 SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO**

Como es ya conocido, las principales fuentes de abastecimiento son las superficiales y las subterráneas. Si bien en la antigüedad las aguas superficiales sólo incluían al grupo de las aguas dulces naturales, hoy en día, debido a la creciente y constante demanda para su uso por persona y con relación a los estándares de vida, se ha venido considerando el aprovechamiento de aguas tratadas por desalinización o por medios físicos y químicos en el caso de aguas de desecho.

Entre los factores que influyen en la consideración de la utilización de una u otra fuente de abastecimiento de agua se encuentran:

- Viabilidad de realización del proyecto
- Calidad del agua
- Costo de obtención del líquido
- Impacto ambiental de la realización de la obra
- Aspectos políticos y legales diversos

Debido a que entre ellos, los factores toman en cuenta criterios de desarrollo diferentes, no se citará más que “el factor costo”, que en nuestro actual entorno de desarrollo del país es el que repercute de manera más significativa en la decisión de la realizar o no de determinada obra. En este orden de ideas, considerar la elaboración de un proyecto deberá repercutir directamente sobre cuánto será el costo que el consumidor estará dispuesto a pagar, o en su defecto, cuánto el gobierno está dispuesto a solventar o absorber de la totalidad del monto de la obra.

Mientras que en zonas poco pobladas se puede echar mano del consumo del agua de fuentes cercanas y de mayor afluencia (como el caso de corrientes superficiales que solo requerirían un tratamiento previo antes de su entrega domiciliaria), en regiones densamente pobladas donde se tenga una demanda del líquido que exceda la capacidad de las fuentes existentes, el costo por construcción de una nueva fuente aumenta, centrando la mirada hacia el aprovechamiento de las aguas residuales o de mar (mediante un previo tratamiento muy costoso).

Una buena fuente de abastecimiento implicará que esta sea lo bastante grande como para satisfacer toda la demanda de agua de determinada población demandante, o de abastecer de forma correcta un excedente de demanda; no obstante es indeseable que se dependa de una sola fuente de abastecimiento, y su diversificación es indispensable. La fuente deberá satisfacer demandas durante interrupciones de energía y en presencia de desastres naturales o accidentes. Desde el punto de vista de la seguridad, los abastecimientos más deseables los siguientes.

- Abastecimiento inagotable, superficial o subterráneo, circulando por gravedad
- Fuente por gravedad con depósitos de almacenamiento
- Fuente inagotable que requiera bombeo
- Fuente que requiera almacenamiento y bombeo
- Fuente que requiera determinado tratamiento para su distribución



Dependiendo de la calidad del agua extraída se determinará su aceptabilidad y costo, variando de región en región, por lo que se recomienda hacer estimaciones preliminares de la calidad del agua de la zona a explotar.

Para llevar a cabo la construcción del sistema planteado en el proyecto de tesis se tuvieron que examinar las fuentes de abastecimiento cercanas a la población, como fueron:

- La realización de pozos profundos para extracción de agua subterránea, que conlleva a observar que el estudio de calidad del agua arrojó que ésta no era la apta para su uso en el consumo humano y su localización es a gran profundidad.
- La segunda alternativa implica el bombeo de agua de alguna fuente superficial cercana, lo que implicaba el desembolso de una cuantiosa suma de dinero anual por concepto de consumo de energía eléctrica.
- La tercera opción es la implementación de una línea de conducción por gravedad que transportara el caudal que se captara por el manantial más cercano y de mayor afluencia al “río La Caña”.

Dependiendo de la calidad del agua en la fuente, se determinará su aceptabilidad y costo. Optar por la tercera opción fue lo más viable para la implementación de la dotación de agua a la localidad. De llevarse a cabo la construcción del sistema diseñado en este proyecto, se recomienda realizar un estudio más cuidadoso de los cuerpos de agua cercanos como futuras fuentes de abastecimiento al sistema, estudios de calidad del agua como:

- Análisis de pH
- Dureza
- Coliformes totales y fecales
- Etc.

El escurrimiento superficial elegido para ser la fuente de abastecimiento es el “Manantial La Caña”, el cual se encuentra al Noroeste de la cabecera municipal de Arteaga, en el Estado de Michoacán en dirección a la comunidad de Tumbiscatío. El punto en el cual se desea emplazar la obra de captación del manantial es aguas abajo de la confluencia de tres afluentes propios del manantial, los cuales desembocan en el “Río La Caña” aguas abajo de la ladera a unos 5 km del afloramiento. El sitio de confluencia se encuentra en una zona de bosque abundante, cuya posición es  $18^{\circ} 24.1939' N$  y  $102^{\circ} 28.7573' O$  y a una altura 1123.0 msnm. La configuración topográfica del sitio es de una planicie considerable, a la cual le rodean terrenos cimosos; lo cual da la posibilidad de instalar adecuadamente la obra de captación.

En la realización del proyecto se considera al manantial con una producción de agua de tiempo de estiaje, con una cantidad determinada de caudal descrita en un apartado posterior, considerándose también que el manantial tiene la mejor calidad de agua posible, al encontrarse apartada de comunidades o fábricas que pudieran contaminarlo superficialmente.

### **2.1.1 El manantial como fuente de abastecimiento**

Se puede definir como manantial como un lugar donde se produce el afloramiento natural de agua subterránea. Por lo general el agua fluye a través de una formación de estratos con grava, arena o roca fisurada. En los lugares donde existen estratos impermeables, éstos bloquean el flujo subterráneo de agua y permiten que aflore a la superficie.

Los manantiales se clasifican por su ubicación y afloramiento. Por su ubicación son de ladera o de fondo, y por su afloramiento son de tipo concentrado o difuso.

En los manantiales de ladera el agua aflora en forma horizontal, mientras que en los de fondo el agua aflora en forma ascendente hacia la superficie. Para ambos casos, si el afloramiento es por un solo punto y sobre un área pequeña, es un manantial concentrado cuando aflora el agua por varios puntos en un área mayor, es un manantial difuso.

#### *a) Cantidad de agua producida*

La carencia de registros hidrológicos obliga a realizar una investigación directa sobre las fuentes, en donde idealmente se tendría que aforar en temporada crítica de rendimiento, que correspondería a los meses de estiaje y lluvias, para así conocer los caudales máximos y mínimos registrados en el afluyente. Idealmente el caudal mínimo debe ser mayor que el valor máximo de consumo diario, si es que se trata de la obra de dotación de agua única o primaria.

#### *b) Calidad del agua captada*

En cada país existen reglamentos en los que se estipulan los límites de tolerancia de la calidad del agua. Con la finalidad de conocer la calidad de la fuente que se pretende utilizar se deben realizar los análisis físico-químicos y bacteriológicos y así conocer los rangos tolerables de las Normas Oficiales Mexicanas, referentes al tema.

Los requerimientos básicos para que el agua sea potable son:

- Estar libre de organismos patógenos que puedan causar enfermedades
- No contener compuestos que tengan un efecto adverso, agudo o crónico sobre la salud humana
- Ser aceptablemente clara (baja en turbidez, color, etc.)
- No salina
- Que no contenga compuestos que le den sabor y olor desagradables
- Que no causen corrosión o incrustaciones en el sistema de abastecimiento o en la propia línea de conducción

## **2.2 CAPTACIÓN DEL AGUA**

Una vez elegida la fuente de agua e identificada como el primer punto del sistema de agua en el lugar del afloramiento, se construirá una estructura de captación que permita recolectar el agua, para que luego pueda ser transportada mediante las tuberías de conducción hacia el depósito de almacenamiento o regularización.

El diseño hidráulico y dimensionamiento de la captación dependerá de la topografía de la zona, la textura del suelo y de la clase de manantial; buscando no alterar la calidad del agua ni modificar la corriente y el caudal natural del manantial, ya que cualquier

obstrucción puede tener graves consecuencias, originando que el agua cree otro cauce y desaparezca el manantial. Es importante que se incorporen características de diseño que permitan desarrollar una estructura de captación que considere un control adecuado del agua, oportunidad de sedimentación y facilidad de inspección y operación.

Las captaciones consisten en un orificio, colador o rejilla, a través de los cuales entra el agua, que por medio de una conducción pasa por gravedad a un pozo o sumidero, desde el cual se eleva hasta la tubería principal o a la instalación de depuración.

Como la captación depende del tipo de fuente y la calidad y cantidad del agua, el diseño de cada estructura tendrá características típicas. Cuando la fuente de agua es un manantial de ladera y concentrado, la captación consta de tres partes: La primera corresponde a la protección del afloramiento; la segunda a una cámara húmeda para regular el caudal a utilizarse; y la tercera a una cámara seca que sirve para proteger una válvula de control. Si se considera como fuente a un manantial de fondo y concentrado, la estructura de captación podrá reducirse a una cámara sin fondo que rodee el punto donde el agua brota. Si existen manantiales cercanos unos a otros, se podrán construir varias cámaras de las que partan tubos o galerías hacia una cámara de recolección de donde se inicie la línea de conducción.

Las obras de captación deben ubicarse o proyectarse de tal manera que eliminen en lo posible las probables interferencias del suministro de agua. Cuando no exista certeza de que la dotación de agua sea continua, la obra de captación debe aumentarse. Para proyectar y ubicar las obras deben considerarse los siguientes aspectos:

- *El tipo de suministro:* considerando en este punto si se trata de un embalse en un lago o río, en donde se tienen que tomar en cuenta las fluctuaciones del nivel del agua que se requiere derivar
- *Dimensiones específicas de la obra,* como: altura del agua al interior de la obra, fondo, efectos de las avenidas en la cuenca y efectos de socavación en el fondo
- *Ubicación* de la obra respecto a los focos de contaminación del agua captada
- *Presencia de materia flotante* en el cauce del flujo, como son: hielo, troncos, ramas, vegetación, etc.

Puesto que la calidad del agua en los embalses puede variar a distintos niveles, siendo el agua superficial la contaminada por material sólido, es recomendable que la captación se realice alrededor de 1 m aproximadamente del nivel mínimo que se presente en el cauce, esto para prevenir que materia flotante se introduzca en la obra y entorpezca el flujo del agua al interior tanto de la obra de captación como consecuentemente en el interior de la tubería. Como también es ordinario que sucedan fluctuaciones en los tirantes o niveles de agua, es conveniente y recomendable que se dispongan de aberturas a varias alturas en la obra para así abatir este inconveniente.

Para la operación y mantenimiento de la obra de captación, se recomienda seguir el siguiente control:

- *Control de turbiedad:* fijando un límite de turbiedad en el agua captada, de acuerdo con la capacidad de la planta de tratamiento aguas debajo de la captación

- *Limpieza de rejillas*: realizándose de forma permanente, retirando los sólidos flotantes para así evitar que se reduzca el caudal de captación
- *Desarenador del lecho del afluente*: una vez que el nivel de sedimentos se encuentre cercano al tubo de captación, abrir la compuerta de embalse y propiciar el desarenado
- *Regulación de compuertas*: de acuerdo al caudal que se pueda captar y el máximo permisible por la obra, se regularán las compuertas que permiten el paso o desvío del flujo
- *Vaciado de la caja de captación de sedimentos*: cuando el nivel de sedimentos afecte el flujo del agua a través de la toma, realizándolo en promedio cada 6 meses

La captación será una estructura de concreto que sirva para proteger al manantial y recolectar el agua para abastecer a la población. Así mismo, se debe cumplir con las especificaciones de estructuras apoyadas en concreto para almacenamiento de líquidos en lo referente a la ubicación, encoframiento y tipo de concreto. Para el diseño de obras de captación superficiales se requiere obtener información sobre:

- *Datos hidrológicos* como: caudal medio, máximo y mínimo, niveles de agua, características de la cuenca, erosión y sedimentación, estudio de inundaciones y arrastre de cuerpos flotantes, etc.
- *Aspectos económicos* como: generación de alternativas y elección de la más económica que cumpla con los requerimientos técnicos, menores costos de construcción, operación y mantenimiento, costos de la obra de protección, tipo de tenencia del terreno, etc.

## **2.3 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE AGUA DEL MANANTIAL**

Encontrar el caudal o realizar el aforo en un cauce natural representa determinadas limitaciones como son: la irregularidad de la sección del cauce a lo largo de determinados tramos, la determinación de la velocidad media en campo, etc. Existen ciertas técnicas de aforo que permiten determinar el caudal, las cuales se mencionarán brevemente a continuación:

### **2.3.1 Aforo con vertedores**

En las mediciones con vertedores estos tienen que ser instalados en una sección del cauce para la determinación del caudal que este fluyendo. Los vertederos se definen como diques o paredes que se oponen al flujo y que poseen una escotadura con una determinada forma geométrica regular por la cual se hará pasar la totalidad del fluido, teniendo la particularidad de que en ellos se forma una sección de control, lo que permite la determinación directa del caudal. Los hay de pared delgada y gruesa. Cada vertedor en particular tiene su propia ecuación de calibración que relaciona determinados parámetros como son: las dimensiones de la cresta vertedora, su forma, altura o carga de descarga en el vertedor, etc., para los cuales, atendiendo a la forma de la sección se tiene una fórmula general dada como:

$$Q = C_d b h^n$$

Donde:

$Q$  = caudal determinado por la ecuación del vertedor

$C_d$  = coeficiente de descarga (variable para cada forma de la sección del vertedor)

$b$  = ancho del canal

$h$  = carga sobre el vertedor o altura del agua sobre la cresta vertedora

$n$  = fracción por la cual se debe elevar el valor de la carga sobre el vertedor (variable para cada forma de la sección del vertedor)

### 2.3.2 Aforo con molinete o correntómetro

En el aforo mediante molinete o correntómetro se debe, en primera instancia, determinar la sección en la cual se va a realizar el aforo, que debe ser una sección de fácil acceso, donde haya un tramo de corriente con buena longitud y la sección lo más constante posible, evitando que las secciones se encuentren cercanas a estructuras que interfieran en el flujo. Para la determinación de las dimensiones de la sección transversal se mide el ancho de la sección del río con cintas métricas o equipos de topografía, así como las profundidades a cada metro a lo largo de la sección, ya sea con varillas u otros dispositivos implementados en campo. Auxiliándose en los molinetes se medirán las velocidades puntuales en cada una de las secciones hechas obteniendo así perfiles de velocidades. Dependiendo del número de secciones en donde se hayan determinado las velocidades, será la fórmula de la velocidad media, teniendo una forma general como sigue:

$$V_m = \frac{V_s + 3V_{0.2} + 2V_{0.6} + 3V_{0.8} + V_f}{10}$$

Donde:

$V_s$  = velocidad superficial

$V_f$  = velocidad en el fondo

$V_{0.2}$   $V_{0.6}$   $V_{0.8}$  = velocidades a las profundidades de 0.2, 0.6 y 0.8m a partir de la superficie libre del agua

*Nota 1:* El valor de la velocidad media obtenida utilizando  $V_s$ ,  $V_f$  y el valor de la velocidad a la profundidad de 0.6 m es una buena aproximación para tirantes de agua menores a 0.6 m en la sección del cauce natural.

*Nota 2:* El uso de los valores de la velocidad a las profundidades de 0.2, 0.6 y 0.8 m en la determinación de la velocidad media por medio de la fórmula anteriormente expuesta es recomendada para corrientes turbulentas debidas a la irregularidad del lecho del cauce natural.

Una vez que se conoce la velocidad media de cada una de las secciones en donde se midieron las velocidades puntuales, se hace un promedio de ellas y se determina una velocidad media única la cual, multiplicada por el área obtenida mediante la determinación topográfica a lo largo de la sección de aforo, dará una buena

aproximación del caudal que esté pasando por el cauce, mediante la simple aplicación de la ecuación de continuidad:

$$Q = V_m A$$

Donde:

$Q$  = caudal circulante en la sección de aforo

$V_m$  = velocidad media del flujo

$A$  = área hidráulica en la sección en la que se mide la velocidad media

### 2.3.3 Aforo con trazadores

En la técnica de aforo mediante trazadores se hace uso de algunos de las siguientes sustancias u objetos: flotadores, sal, radio isótopos y colorantes. Una de las características del uso de este tipo de trazadores fluorescentes es su bajo costo, no contaminante y solubles en el agua. El gasto se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{C}{c} q$$

Donde:

$Q$  = caudal estimado

$q$  = caudal inyectado como trazador en la sección 1

$C$  = concentración del trazador inyectado en la sección 1

$c$  = concentración de la muestra tomada en la sección 2 de observación

### 2.3.4 Aforo con un método indirecto (haciendo uso de la ecuación de Manning)

En el método indirecto de la ecuación de Manning se hace uso de la fórmula de Manning que permite calcular la velocidad media en una sección, una vez sean conocidas determinadas características en un tramo del cauce, como son: la rugosidad del lecho del río, el radio hidráulico de la sección en consideración y la pendiente en el tramo. El radio hidráulico se obtiene de la geometría de la sección a partir de un levantamiento topográfico, la pendiente de la línea que une a los puntos del tramo en consideración, el coeficiente de rugosidad a partir de un conteo aleatorio de sedimentos mediante la fórmula siguiente:

$$n = 0.0487 D_{50}^{1/6}$$

Donde:

$n$  = coeficiente de rugosidad de Manning obtenido de forma indirecta para el cauce natural

$D_{50}$  = diámetro correspondiente al 50% de la distribución del tamaño de sedimentos del conteo aleatorio

Una vez conocidos estos parámetros, la ecuación modificada de Manning para el cálculo de la velocidad media del flujo será:

$$V = \frac{6.4427\sqrt{g}}{D_{50}^{1/6}} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

$V$  = velocidad media del cauce en la sección de aforo

$R_h$  = radio hidráulico promedio de las secciones en estudio

$S$  = pendiente en un tramo del cauce

$g$  = valor de la aceleración de la gravedad

Nuevamente, una vez que se tenga la velocidad media y ya conocida de antemano el área de la sección transversal y haciendo la multiplicación, por medio de la ecuación de continuidad, determinamos el caudal en el cauce.

### 2.3.5 Aforo en el manantial La Caña

Para la determinación del caudal de diseño con el cual se trabajará en los cálculos posteriores de la línea de conducción que servirá como transporte del fluido hacia el tanque de regularización en dirección a la comunidad de Arteaga y con esto poder satisfacer la demanda de dotación de agua, se hizo una visita en campo a la confluencia de los manantiales, ubicada en las coordenadas expuestas anteriormente, dadas por un geoposicionador global, con el cual fue obtenido un aforo indirecto del caudal circulante.

En la zona de confluencia de los escurrimientos del manantial se tomo una sección de aforo con el objeto de tener en conocimiento del caudal estimado que se puede captar, y el cual se llevará a la comunidad de Arteaga.

Las dimensiones de la sección fueron de 2.50 m de ancho ( $b$ ) sobre el canal del manantial “La Caña” y un tirante promedio ( $y$ ) de 0.14 m, obteniendo un área hidráulica de:

$$A = b h \qquad A = 2.5 \times 0.14 \qquad A = 0.35 \text{ m}^2$$

Con esta sección y la velocidad media a través de esta, determinada indirectamente a partir de la velocidad superficial, tomándola como un 85% de la superficial se hizo la determinación del caudal que se puede captar en la confluencia de los manantiales de “La Caña”. Mediante el siguiente desglose de fórmulas se obtuvo un caudal aprovechable aproximado de 150 l/s.

$$\begin{aligned} V_s &= 0.7929 \text{ m/s} & V_m &= 0.85V_s & V_m &= 0.4286 \text{ m/s} \\ Q &= V_m A & Q &= 0.4286 \times 0.35 & Q &= 0.15 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Una vez conocido el caudal que nos puede aportar el manantial en su conjunto, fue de fácil ayuda el discernir entre la opción de la construcción de pozos profundos o la implementación de una línea de conducción.



## 2.4. TANQUE DE ALMACENAMIENTO

El agua se almacena por diversas finalidades, pero las 2 principales funciones o usos de un tanque o depósito de almacenamiento es el de igualar el suministro y la demanda en periodos de consumo variable y suministrar agua durante las fallas en los equipos o demandas extraordinarias como incendios. Algunos depósitos deben ser elevados, otro utilizar un sistema de bombas. Para lograr el almacenamiento del agua a una elevación favorable se hace uso de la construcción de depósitos construidos en tierra o mampostería, situándolos en partes altas que abarquen o cubran una gran zona de influencia aguas abajo del depósito o bien, construyendo tanques elevados o depósitos de regulación. La capacidad con que deba contar el depósito dependerá de las características de la demanda de la población y de la carga necesaria al interior del depósito si se trabaja con bombas que requieran una carga neta de succión positiva (NPSH), estudiando cuidadosamente cada bomba en particular que se pretenda instalar en el sistema; normalmente es requerida una capacidad de almacenaje del 15 al 30% de la demanda máxima diaria.

Como la demanda horaria máxima suele ser varias veces mayor que la demanda diaria máxima, se recomienda tener varios depósitos de estabilización en un sistema de distribución y así durante las horas máximas de demanda enviar el agua extra necesaria mediante estos depósitos a los consumidores, una vez que se reduzca la demanda, el caudal aportado por la alimentación del sistema volverá a llenar el depósito principal y los secundarios.



# 3

## **BASES DEL DISEÑO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN**

### 3. BASES DEL DISEÑO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

#### 3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

##### 3.1.1 Caudal de diseño

Es de uso común utilizar como caudal de diseño el volumen de agua máximo de consumo requerido para determinada población durante un día ( $Q_{\text{máx-diarario}}$ ) o durante una hora ( $Q_{\text{máx-horario}}$ ). Para cuando se trata de líneas de conducción por bombeo se debe planear que su operación sea las 24 horas al día, de lo contrario se tendrían que modificar los caudales de diseño y el diámetro de tubería.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el caudal máximo con el que se cuenta para dotar de agua a la población de Arteaga, Mich. (como una fuente alterna de suministro) es el que provee la confluencia de los manantiales de “La Caña”, ubicados aproximadamente a 30 km de distancia. Ese caudal fue determinado indirectamente en el sitio de la confluencia, obteniendo un valor de 150 l/s.

##### 3.1.2 Presiones de diseño

Puesto que al hablar de líneas de conducción nos referimos a estas como conductos o tuberías que siguen la topografía del terreno natural, éstas estarán sujetas a presiones diferentes a la atmosférica, mayores a ésta la mayoría de las veces y en algunos casos, los menos deseados, menores a la atmosférica produciendo succión.

Al realizar un diseño de una línea de conducción por gravedad se debe tener presente el cálculo de la línea piezométrica (línea de energía en cada uno de los puntos a lo largo de la tubería) y la línea de gradiente hidráulico (línea que es la suma de la carga de presión más la carga de posición); al observar estas dos líneas se debe cuidar que la línea de gradiente hidráulico se encuentre siempre por encima del eje de la tubería, evitando así presiones negativas a lo largo de la línea, lo que produciría succión y por consiguiente colapso de la tubería en la porción de ella expuesta a la presión negativa.

Otro factor importante a tomar en cuenta es la selección de la tubería a utilizar en la línea de conducción, considerando que aquella que se haya elegido sea lo suficientemente resistente como para soportar la presión más alta que se pueda presentar a lo largo de la línea. Se debe considerar también que generalmente la presión más alta no se presenta cuando el sistema esté en operación, sino cuando la válvula de salida se encuentre cerrada y se sigan desarrollando presiones hidrostáticas. Una generación de presiones muy elevadas se puede producir también por la presencia de una sobrepresión, generalmente conocida como “golpe de ariete”, esto debido al cierre o abertura súbita de una válvula o por el cese del funcionamiento de una bomba.

##### 3.1.3 Tipos de tubería

Comúnmente las tuberías que se utilizan para la construcción de líneas de conducción son de:

- Acero
- Fierro Galvanizado (Fo.Go.)

- Fierro Fundido (Fo.Fo.)
- Asbesto-Cemento (A-C)
- Polivinilo de Cloruro (PVC)
- Polietileno de Alta Densidad (PAD)
- Cobre
- Concreto (con o sin refuerzo)
- Combinación de dos o más de las anteriores

### 3.1.3.1 Tubería de acero

#### Diámetros Comerciales

- Varían en 2", desde 4" hasta 24" y a cada 6" entre 30" y 72"

#### Presión

- Dependiendo del espesor, así como del  $f_y$  (2530-3333 kg/cm<sup>2</sup>), entre mayor sea el diámetro a usar, se reducirá su carga de trabajo. Por ejemplo para una tubería de 16" de diámetro varía de 21.3 kg/cm<sup>2</sup> hasta 83.7 kg/cm<sup>2</sup>

#### Ventajas

- Tienen una vida útil prolongada cuando se instalan, protege y mantiene correctamente
- Se recomienda su uso cuando se requiera de diámetros grandes y presiones elevadas
- Es un material resistente y se podría considerar liviano en comparación con otros materiales

#### Desventajas

- Presenta daños estructurales debidos a la corrosión, mayores que en el Fo.Fo., esto debido a que sus paredes son más delgadas
- El acero se expande  $\frac{3}{4}$ " por cada 30 m de largo cuando la temperatura se aproxima a los 40 °C
- Se requiere el uso de juntas que permitan la expansión del acero



Figura 3. Tubos de acero sin recubrimiento

### 3.1.3.2 Tubería de hierro fundido (Fo.Fo.)

#### Diámetros Comerciales

- Desde 3", 4" en incrementos de 2" hasta 20", 24" y en incrementos de 6" hasta 48"

#### Largos Comerciales

- El largo estándar es de 4 m, pero también pueden obtenerse largos de hasta 6 m

#### Presión

- Son fabricadas para soportar presiones hasta de  $25.5 \text{ kg/cm}^2$

#### Ventajas

- Una tubería de este tipo puede durar más de 100 años en servicio bajo condiciones normales de operación
- La corrosión externa no es problema debido a los espesores relativamente grandes
- Es una aleación simple de magnesio con hierro, con bajo contenido de fósforo y azufre

#### Desventajas

- En ambientes desfavorables la tubería debe ser encamisada con polietileno para protegerla
- La tubería dúctil ha venido reemplazando a la tradicional de hierro fundido (Fo.Fo.)

### 3.1.3.3 Tubería de hierro galvanizado (Fo.Go.)

#### Diámetros Comerciales

- De 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 6, 8, 10 pulgadas

## Ventajas

- La tubería de fierro galvanizado es una tubería recubierta de zinc, que disminuye la corrosión
- Existen tuberías de metal corrugado (galvanizado), la cual es utilizada para el drenaje en alcantarillas de carreteras
- El propósito del corrugado es aumentar la resistencia de la tubería y permitir una reducción sustancial de la pared

### 3.1.3.4. *Tubería de concreto*

## Ventajas

- Este tipo de tubería es fabricada en proyectos específicos y puesto que sus diámetros son especiales, estos son fáciles de obtener y van desde los 0.3 m a los 2.0 m
- Esta destinada generalmente para servir a líneas de alta presión, por lo que están reforzadas con acero para que absorba la tensión
- El refuerzo no es necesario en la fabricación de tubería que no trabajará a presión
- La tubería puede llegar a resistir hasta  $27.54 \text{ kg/cm}^2$

## Desventajas

- Las tuberías de concreto suelen ser susceptibles a fractura durante el traslado, manejo y puesta en obra
- Son considerablemente de mayor peso respecto a las anteriores o a las plásticas
- Requiere que en sus juntas sea utilizado algún aglutinante que no logra su impermeabilidad al 100%



Figura 4. Instalación de tubería de concreto

### 3.1.3.5 Tubería de asbesto-cemento

#### Diámetros Comerciales

- Desde 4" hasta 36"

#### Largos Comerciales

- Tienen un largo estándar de 4 m

#### Presión

- Son fabricadas atendiendo a diferentes grados para soportar la presión, siendo la máxima de  $15.3 \text{ kg/cm}^2$

#### Ventajas

- Está hecha a base de cemento Pórtland, sílice y fibras de asbesto
- Es ligera, de fácil instalación y resistente a la corrosión

#### Desventajas

- Se ha demostrado que el asbesto es cancerígeno cuando las fibras son inhaladas, pero no hay evidencia contundente de que causen algún problema si son ingeridas por ser transportadas por el agua al paso de la tubería
- Las fibras de asbesto pueden ser desprendidas de la tubería si es conducida agua agresiva en la tubería
- La tubería es frágil y de fácil ruptura ante equipo de excavación



Figura 5. Instalación de tubería de asbesto-cemento (junta hermética)

En la actualidad el uso de tuberías para sistemas de abastecimiento y dotación de agua potable, tanto para redes como para líneas de conducción en la mayoría de las poblaciones y nuevos asentamientos urbanos, se ha centrado en las tuberías de materiales plásticos.

El polivinilo de cloruro (PVC) y el polietileno de alta densidad (PAD) han mostrado mayores ventajas desde el punto de vista constructivo, costo del material, traslado, etc., respecto de tuberías constituidas de otros materiales o menos resistentes, más caros o de resistencia sobrada. A continuación se exponen las 2 tuberías plásticas de mayor uso en el mercado.

### 3.1.3.6 Tubería de polivinilo de cloruro (PVC)

#### Diámetros Comerciales

- En la Serie Inglesa varían de 13mm a 150 mm (1/2" a 6") en relaciones RD de diámetro-espesor entre 26, 32.5 y 41. Existe tubería de 4" a 8" de diferentes resistencias y cédula 40 desde 1/2" hasta 4"
- Para la Serie Métrica varían desde los 160 mm hasta los 630 mm (de 6" a 24"), variando desde la cédula 5, 7, 10 y 14

#### Largos Comerciales

- El largo estándar para la mayoría de las marcas es de 6 m

#### Presión

- Son fabricadas para diferentes RD, dependiendo de la serie de que se trate (Inglesa o Métrica) y varía desde 5 kg/cm<sup>2</sup> hasta 50 kg/cm<sup>2</sup>, dependiendo el diámetro de la tubería
- Por lo general las tuberías de gran diámetro tienen resistencias a presión interna menores de entre 5 - 14 kg/cm<sup>2</sup>

#### Ventajas

- Es durable, con una vida útil de aproximadamente 50 años
- Es de bajo peso, lo que facilita su manejo
- Es resistente a la acción de hongos, bacterias, insectos y roedores y a la mayoría de los reactivos químicos
- Es sólido y resistente a impactos y a la intemperie
- Es totalmente hermético y económicamente más barato
- El diseño de la unión espiga, campana no permite infiltración o exfiltración, impidiendo la contaminación del agua

#### Desventajas

- A temperaturas menores a 0 °C se reduce su resistencia al impacto
- Expuesta por periodos prolongados a los rayos solares, la tubería experimenta cambios en sus propiedades mecánicas
- La tubería es susceptible a daños por contacto con objetos punzo cortantes





Figura 6. Almacenado de tuberías de PVC en venta

### 3.1.3.7 Tubería de polietileno de alta densidad (PAD)

#### Diámetros Comerciales

- Varían desde 1/2" hasta 36"

#### Largos Comerciales

- Las longitudes van de 6, 12 y 15 m para tuberías de 3" a 36" y rollos de 100 a 300 m para tuberías de 1/2" a 3"

#### Presión

- La fabricación de tuberías de polietileno de grandes diámetros está dada por relaciones dimensionales diámetro/espesor (RD) desde 7 hasta 41, soportando presiones que van desde los 2.8 kg/cm<sup>2</sup> (RD-41) hasta los 18.6 kg/cm<sup>2</sup> (RD-7). Cada una de las tuberías de distinta resistencia y diámetro cuenta con líneas extruidas en colores diferentes para una fácil identificación

#### Ventajas

- Vida útil mayor a 50 años
- Elevada flexibilidad que reduce el número de conexiones, combinada con el bajo peso para una fácil instalación
- Menor costo de instalación por requerir zanjas más angostas o en su defecto no requerirlas
- Elevada resistencia a movimientos sísmicos y asentamientos del terreno
- Evita incrustaciones
- Absorbe golpes de ariete
- Uniones completamente herméticas
- Elevada resistencia a la corrosión interna y externa, a la abrasión y a los rayos ultravioleta





Figura 7. Implementación de tubería de polietileno en campo abierto

Algunos criterios a tomar en cuenta antes de decidir por que tipo de tubería se optará por utilizar son los siguientes:

- Diámetros disponibles
- Factores hidráulicos (caudal a conducir, presiones y velocidades de diseño)
- Costo
- Calidad del agua y tipo de suelo
- Etc.

A continuación se enlistan algunas recomendaciones de cada uno de los tipos de tuberías para una mejor selección de esta:

- a. La tubería de acero es muy resistente y se recomienda su uso cuando las presiones de diseño sean altas. Sin embargo su costo y el de las piezas especiales son elevados y esto aumentaría considerablemente el costo del proyecto. Por ello se recomienda analizar otras opciones de tubería, con instalación de cajas rompedoras de presión, si es el caso en que se pudieran utilizar
- b. Las tuberías de asbesto-cemento son resistentes a la corrosión y ligeras. Requieren de cuidados especiales en su carga, transportación y descarga al sitio de la obra. El asbesto-cemento debe considerarse para diámetros intermedios de hasta 400 mm
- c. Las tuberías de plástico como el polietileno de alta densidad o el polivinilo de cloruro son ligeras y de instalación rápida, además de ser resistentes a la corrosión y tener bajos coeficientes de rugosidad ( $n$ ), por ser las paredes interiores bastante lisas
- d. Se recomienda el uso del PVC o el PAD para diámetros menores a **150 mm**
- e. Cuando el proyecto requiere que la tubería tenga mayor resistencia a presiones o posibles asentamientos del terreno, entonces es recomendable el uso del fierro

galvanizado o en su defecto, si se requiere cubrir grandes diámetros de la tubería, el uso de acero es recomendado

### 3.2 LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

Una línea de conducción es un tramo de tubería que permite el transporte de agua desde una obra en donde se tiene captando hasta una planta potabilizadora, que la tratará para poder hacer una posterior entrega a la población a la que se le pretenda prestar el servicio, o bien, el agua de la línea llegará a un tanque de regularización que permita su posterior distribución, atendiendo a la configuración del sistema de entrega con que se cuente en determinada población. (Figura 8).

Un aspecto importante del planteamiento de una línea de conducción es que ésta debe seguir en lo posible el perfil de terreno, teniendo con esto que salvar depresiones y lugares elevados, en general, como se comporte el terreno por donde se pretenda llevar la tubería de la línea.



Figura 8. Ejemplo de una doble línea de conducción

Se considerará que la disposición de la línea permita una fácil inspección por parte del personal de mantenimiento y reparación, evitando en lo posible zonas escarpadas de difícil acceso o extremadamente accidentadas que dificulten aún la instalación de tubería o su sujeción. En zonas donde se tenga que salvar barrancas o cruce de algún río o arroyo se tendrán que hacer las adecuaciones necesarias a la línea para permitir el paso de ésta sin que a lo largo del tiempo le sobrevengan daños a la misma, ya sea haciendo uso de sifones invertidos u otro tipo de estructura.

Las líneas de conducción pueden ser diseñadas para trabajar por gravedad, que es el caso del presente proyecto de tesis, o por bombeo.

Para que una línea de conducción de agua sea considerada como conducción por gravedad, será necesario que la fuente de la cual se esté alimentando (embalse, lago,

manantial, presa, represa, etc.) se encuentre en algún punto elevado sobre la salida o final de la misma, de modo que se pueda mantener una presión suficiente que permita la conducción y movimiento del agua de un punto a otro por simple gravedad. Este método se aconseja para cuando se cuente con manantiales o cualquier otro cuerpo de agua con elevación superior a la de la población a dotar, en donde lo único que se tiene que cuidar es que las pérdidas que cause el transportar el agua de un punto a otro al interior de los diferentes tipos de tubería de la línea de conducción no sean mayores que el desnivel con que se cuente entre ambos puntos, tomando en cuenta también que a lo largo de la línea no siempre se tendrá la condición más favorable deseada (un terreno completamente horizontal o sin grandes desniveles), lo que cada cambio del agua al interior de la tubería implicará mayores pérdidas a lo largo de esta.

Cuando las condiciones del terreno o la disposición de la fuente de dotación no permitan que una línea trabaje a gravedad, su diseño será entonces por bombeo, del cual se tienen dos variantes, las cuales son:

a) *Opción 1*: La utilización de bombas, más el almacenamiento de cierta cantidad de agua en un tanque. Cuando se emplea este método el exceso de agua es almacenado en un tanque elevado durante períodos de poco consumo; mientras que por el contrario en períodos de mucho consumo, el agua almacenada se utiliza para aumentar la capacidad de entrega que, junto con la de la bomba, es mayor. Este sistema permite tener un rendimiento uniforme de las bombas que extraen y conducen el agua al tanque, lo que le permite que sea más económico, evitando esforzar a las bombas en tiempos de gran consumo.

Por otro lado, como el agua almacenada al interior del tanque es un agua de reserva, ésta puede ser utilizada en casos de emergencia, no solo como para generar mayor caudal del requerido normalmente, sino también cuando se presente algún incendio o averías en alguna bomba, generando una muy buena seguridad de operación.

b) *Opción 2*: Una segunda opción es el simple uso de bombas sin almacenamiento, lo que genera que las bombas introduzcan el agua directamente en la red de distribución, no teniendo otra salida más que la del agua que se consuma por el usuario. Este es uno de los sistemas menos deseables, puesto que cualquier avería en la fuente de energía o en alguna bomba ocasionaría la interrupción completa del suministro del agua; además, al interior de la tubería se tendrán presiones muy variadas a lo largo del día, puesto que cuando el agua no sea requerida las bombas estarán ejerciendo una determinada presión al interior de la tubería de la red, pudiendo llegar a generar fugas o ruptura de ésta y, por el contrario, cuando se tenga la mayor demanda por el usuario, se generaría una disminución de presión al interior de la red lo que propiciaría una menor entrega de agua al usuario.

Para evitar las variaciones de presión se recomienda el uso de variadores de velocidad en los equipos de bombeo, lo que conlleva un incremento en el costo de la obra por concepto de compra de estos dispositivos.

Tanto en el diseño de una línea de conducción por gravedad o con ayuda de bombas, es necesario el hacer uso de formulaciones que permitan el cálculo tanto de pérdidas generadas por fricción existente debida al paso del flujo por el interior de la tubería, así

como aquellas pérdidas localizadas en cambios de dirección, de sección, etc., que van reduciendo la capacidad de conducción del agua.

Para el cálculo de pérdidas de energía por fricción al interior de la tubería, traducida en una reducción del desnivel efectivo en una línea de conducción por gravedad, se debe iniciar por estudiar lo siguiente:

- El problema de la resistencia al flujo, determinada por el investigador Osborne Reynolds en 1883, distinguiendo entre flujos laminares y flujos turbulentos, que resultan propiamente de la viscosidad del fluido
- La rugosidad absoluta de las paredes interiores de una tubería, considerada como  $(\epsilon)$ ; así como la rugosidad relativa que es la relación que guarda la rugosidad absoluta respecto del diámetro del tubo, considerada como  $(\epsilon/D)$
- El área hidráulica  $(A)$ , de la sección transversal ocupada por el líquido dentro del conducto
- El perímetro mojado  $(P)$ , de la sección transversal del conducto con el que hay contacto del fluido con la pared interior
- El radio hidráulico  $(R_h)$ , que es definido como la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado de una misma sección  $(R_h = A/P)$

### 3.2.1 *Fórmula general de pérdidas por fricción*

Dentro del problema del planteamiento de una fórmula que permita el cálculo de las pérdidas por fricción, en 1850 los investigadores Darcy y Weisbach (entre otros), dedujeron una fórmula experimental para calcular las pérdidas al interior de cualquier tipo de tubo y flujo, quedando como:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

$h_f$  = pérdida por fricción (m)

$f$  = factor de fricción que depende de la rugosidad absoluta  $(\epsilon)$  y del número de Reynolds  $(Re)$

$L$  = longitud del tubo (m)

$D$  = diámetro del tubo (m)

$V$  = velocidad media al interior del tubo (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad  $(m/s^2)$

Puesto que en la fórmula anterior la determinación de las pérdidas sólo está sujeta a conocer el factor de fricción  $(f)$  y este es dependiente de  $\epsilon$  y  $Re$ , otros investigadores se dedicaron a plantear formulaciones que les permitieran conocer de manera más fácil este valor, a conocer:

### 3.2.2 Factor de fricción para tubos lisos o rugosos en la zona laminar

- *Poiseuille*: En 1846 determinó matemáticamente que el factor de fricción en flujo laminar en un rango de  $Re < 2300$  y aplicable a tubos lisos o rugosos, valía:

$$f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{VD/\nu}$$

### 3.2.3 Factor de fricción para tubos lisos en zonas de transición o turbulenta

- *Blasius*: En 1913, junto con Saph y Schoder formularon la siguiente expresión válida para tubos lisos y con un rango de  $Re > 10^5$ :

$$f = \frac{0.3164}{Re^{1/4}}$$

- *Nikuradse*: En 1920, obtuvo resultados de  $f$  contra  $Re$  en tubos lisos para valores de  $Re = 3 \times 10^6$ , obteniendo que:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log Re \sqrt{f} - 0.8$$

Este investigador también trabajó con tubos de rugosidad artificial, obteniendo que:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left( \frac{3.71D}{\epsilon} \right)$$

- *Kozeny*: Centró sus cálculos del factor de fricción en los tubos de asbesto-cemento, aplicable a la formulación determinada por Darcy-Weisbach. La fórmula válida para valores de  $Re > 4000$  es:

$$f = \frac{2g}{7.78 \log R_e - 5.95}^2$$

- *Richter*: Al igual que Kozeny, Richter encontró una fórmula del factor de fricción, pero aplicable únicamente para tubos de hule como son el PVC y el PAD. Este factor de fricción será correcto dentro de valores de  $Re > 4000$ .

$$f = 0.01113 + \frac{0.917}{R_e^{0.41}}$$

### 3.2.4 Factor de fricción para tubos rugosos en las zonas de transición o de turbulencia

- *Colebrook-White*: Estos investigadores presentaron una fórmula empírica para la zona de transición de flujo laminar a turbulento en tubos comerciales, quedando como:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\epsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{R_e \sqrt{f}} \right)$$

- *Hazen-Williams*: Haciendo uso de fórmulas empíricas estos investigadores llegan a obtener una fórmula para determinar la velocidad media al interior de una tubería rugosa, dependiendo del tipo del material con que esté hecho el tubo.

$$V = 0.355C_H D^{0.63} S_f^{0.54}$$

### 3.2.5 Factor de fricción para tubos rugosos en zona turbulenta

- *Nikuradse*: Nuevamente este investigador encuentra una fórmula que permite el cálculo del factor de fricción pero ahora para la conducción de agua en zona turbulenta, quedando como:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3.71D}{\epsilon}$$

- *Kozeny*: Para la zona turbulenta plantea el uso del valor N (dado en la Tabla 3.1), dependiente del tipo de material de la tubería, para el cálculo del factor de fricción aplicable a la fórmula de Darcy-Weisbach.

$$f = \frac{2g}{8.86 \log D + N^2}$$

- *Chezy*: Su fórmula para el cálculo de la velocidad media al interior de las tuberías se apoya tanto en la formulación de Darcy-Weisbach como en la formulación empírica de la velocidad, introduciendo un nuevo coeficiente (C):

$$V = C \sqrt{R_h S_f}$$

Este nuevo coeficiente es determinado en las formulaciones de Bazin y Kutter, siendo:

$$C = \frac{87}{1 + \Delta / \sqrt{R_h}} \quad (\text{Bazin})$$

$$C = \frac{100 \sqrt{R_h}}{m + \sqrt{R_h}} \quad (\text{Kutter})$$

Las variables  $\Delta$  y  $m$  son coeficientes que dependen del tipo de material de la tubería y están dados en la Tabla 3.1.

- *Manning*: Al igual que en la fórmula de Chezy, se hace uso de la fórmula empírica de la velocidad, introduciendo un nuevo coeficiente ( $n$ , presente en la Tabla 3.1) dependiente del tipo de tubería y su rugosidad, quedando como:

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S_f^{1/2}$$



A continuación se presenta la tabla para los valores de  $C_H$ ,  $\Delta$ ,  $m$ ,  $n$  y  $N$  que son aplicables a las fórmulas anteriormente descritas de acuerdo a los tipos de tubería más comunes:

<b>Tabla 3. VALORES DE LOS COEFICIENTES <math>C_H</math>, <math>\Delta</math>, <math>m</math>, <math>n</math>, <math>N</math></b>					
MATERIAL	$C_H$	$\Delta$	$m$	$n$	$N$
Acero corrugado	60	-	-	-	-
Acero con juntas lock-bar	135	-	-	-	-
Acero sin costuras	-	0.10	.025	-	38
Fierro fundido nuevo	130	0.16	0.25	0.013	35
Asbesto-Cemento	135	0.06	-	-	-
Plásticos (PVC, PAD)	150	-	-	-	-
Cobre y Latón	130	-	-	-	-
Concreto con acabado liso	130	-	0.20	-	38
Concreto con acabado común	120	0.18	-	0.010	-
Madera cepillada	120	-	0.10	0.012	-

Fuente: Hidráulica General, Sotelo Ávila

### 3.2.6 Diagrama universal de Moody

Con base a los resultados de pruebas anteriores Moody, junto con investigadores que trabajaron con tuberías comerciales, prepararon la presentación de “Diagrama Universal” para la determinación del coeficiente de fricción ( $f$ ) en tuberías de rugosidad comercial que transporten cualquier líquido, presentado en la Figura 9.

En la siguiente tabla se presentan los valores de la rugosidad absoluta para los tubos comerciales de mayor uso:

<b>Tabla 4. VALORES DE RUGOSIDAD ABSOLUTA PARA DIFERENTES MATERIALES</b>	
TIPO DE MATERIAL	RUGOSIDAD (mm)
Polietileno (PAD)	0.007
Polivinilo (PVC)	0.020
Fibro-cemento	0.025
Acero	0.050

Fundición dúctil	0.100
Latón	0.025
Madera	0.20 – 1.00
Fierro Fundido (Fo. Fo.)	0.250
Concreto de acabado liso	0.025
Concreto con acabado normal	1.00 – 3.00
Concreto con acabado rugoso	10.00

Fuente: Hidráulica General, Sotelo Ávila

La precisión en el uso del diagrama universal de Moody dependerá de la selección de  $\epsilon$  (según el tipo de material de que esté hecho el tubo), del diámetro de la tubería y del número de Reynolds.

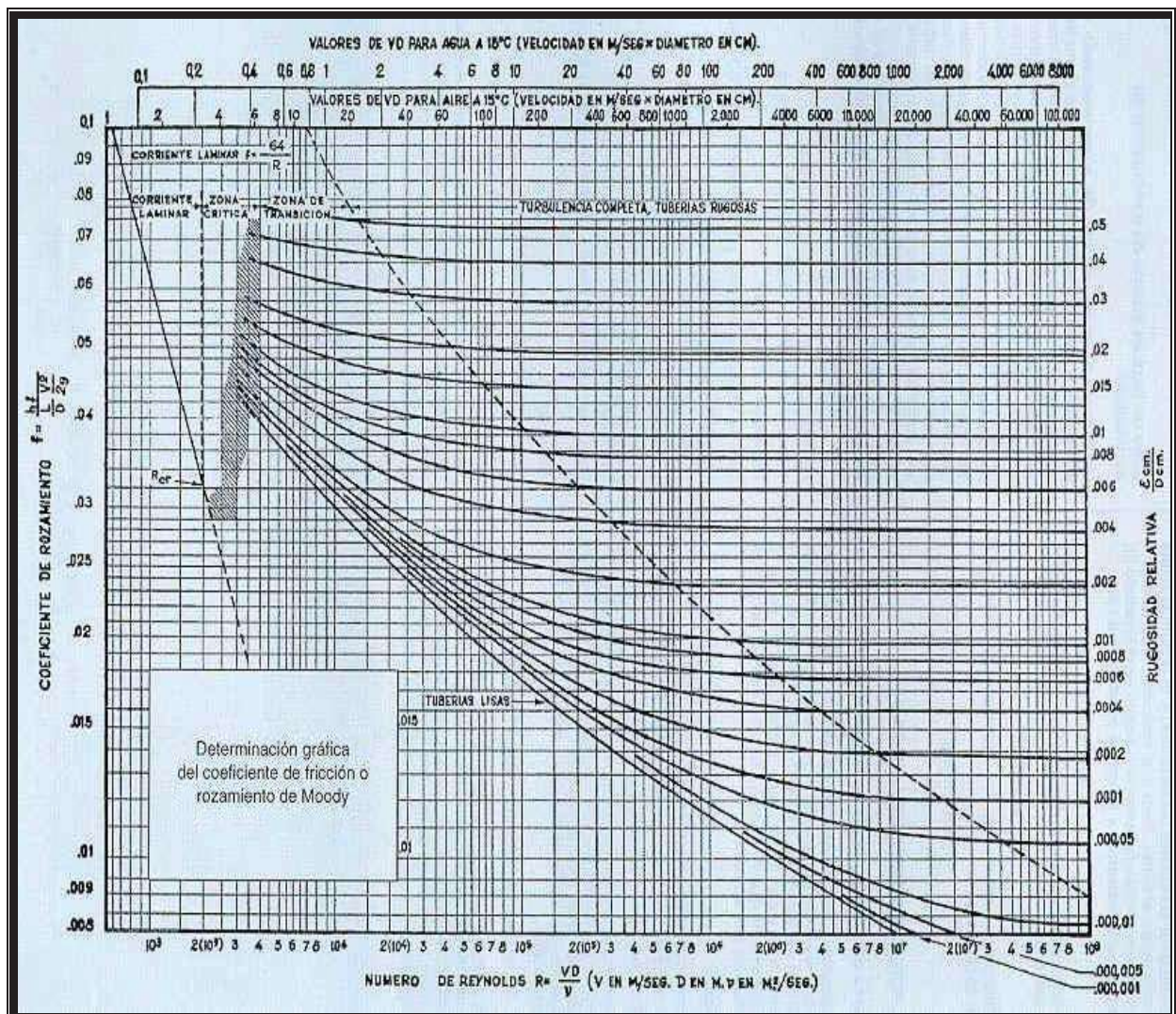


Figura 9. Diagrama Universal de Moody



Una vez obtenido el factor de fricción de la ecuación de Darcy-Weisbach por medio del diagrama universal de Moody, el cálculo de las pérdidas por fricción a lo largo de determinado tramo de tubería de sección constante y mismo tipo de material no representa inconveniente alguno. Si es considerado que la línea de conducción esté formada por varios tramos de diferente tipo de tubería o sección, el cálculo de las pérdidas simplemente se hará de igual forma pero por separado para cada tramo.

Las tuberías de conducción que se utilizan en la práctica están compuestas por tramos rectos y curvos, necesarios para ajustarse a los accidentes topográficos del terreno, así como a los cambios que se presentan en la geometría de la sección y los distintos dispositivos para el control de la entrada y las descargas del líquido.

A todo tipo de pérdida localizada en el sitio del cambio de geometría o alteración del flujo se les conoce como Pérdidas Locales. Entre las pérdidas más comunes que podemos encontrar de este tipo están:

- Por entrada
- Por rejilla
- Por ampliación
- Por reducción
- Por cambio de dirección
- Por válvulas
- Por salida
- Por bifurcación
- Etc

Es de uso común el considerar que las pérdidas generadas como “locales” sean de magnitud poco relevante y esto hace que sean consideradas como un porcentaje de la totalidad de las pérdidas por fricción, a saber que se considerará en el presente proyecto de tesis este porcentaje como un 10% de las pérdidas por fricción, quedando su determinación fuera de las hojas de cálculo.

### 3.3. PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO HIDRÁULICO

La determinación de los diferentes diámetros en una línea de conducción se tendrá que basar en el diseño hidráulico que permita transportar el caudal que se pretenda llevar a determinado punto con determinada velocidad al interior de la tubería, atendiendo a cumplir con las velocidades máximas ( $V_{máx}$ ) y velocidades mínimas ( $V_{mín}$ ) para cada uno de los diferentes tipos de tubería y sus restricciones, así como las presiones máximas soportadas por estas.

No se debe perder de vista que antes de entrar al diseño hidráulico se debe tener un cálculo previo del caudal máximo requerido o explotable de una fuente de abastecimiento.

Los pasos a considerar en un diseño hidráulico son los siguientes:

- a. Proponer uno o varios tipos de tubería, dependiendo si se trata de pequeñas o grandes líneas de conducción, atendiendo a la longitud de éstas, así como un diámetro tentativo que permita transportar el caudal de diseño dentro de los valores permisibles de velocidad dependiendo del tipo de tubería.
  - Es recomendable el uso de un solo tipo de tubería cuando se trate de casos en donde la línea de conducción es de longitud corta o los valores de presión máxima son muy uniformes a lo largo de ésta
  - Por el contrario, si se trata de líneas de conducción de gran longitud, y para tener un diseño más óptimo de ésta, se recomienda hacer uso de diferentes tipos de materiales, diámetros y resistencias en las tuberías, esto para reducir los costos de la obra, usando tubería de acero en las partes que se encuentren sometidas a las presiones más altas, si es que éstas no se pueden salvar con otro tipo de tubería menos resistente
- b. Calcular el caudal teórico y compararlo con el caudal de diseño. Redimensionar el diámetro de la tubería en caso de ser necesario, hasta que el caudal calculado sea igual que el caudal de diseño.
- c. Comparar la velocidad del flujo al interior de la tubería a lo largo de ésta con los límites permisibles de cada uno de los tipos de tubería ( $V_{máx}$ ,  $V_{mín}$ ). Proponer nuevos valores del diámetro (atendiendo a los valores del diámetro interior comerciales para cada uno de los diferentes tipos de tubería), hasta que el caudal y la velocidad sean apropiados para el transporte del caudal requerido atendiendo a especificaciones de velocidad interior.

- La velocidad mínima se debe evitar al interior de la tubería para no propiciar la sedimentación o estancamiento de material sólido (arena) al interior de la tubería, lo que causaría una disminución del área hidráulica por la cual estará circulando el caudal de diseño
- En el caso de la velocidad máxima, ésta debe ser restringida al interior de la tubería, puesto que valores mayores a los permisibles podrían propiciar daño estructural a la tubería, llegando hasta su ruptura, o en su defecto erosión de las paredes interiores
- A continuación se presenta una tabla en la que, de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CNA), se observan los valores permisibles máximos y mínimos de la velocidad al interior de cada uno de los tipos de tubería

<b>Tabla 5. VALORES PERMISIBLES DE VELOCIDADES MÁXIMAS AL INTERIOR DE TUBERÍAS</b>	
<b>TIPO DE TUBERÍA</b>	<b><math>V_{\text{máx}}</math> (m/s)</b>
Concreto simple hasta de 45 cm de diámetro	3.00
Concreto reforzado de 60 cm de diámetro o mayores	3.50
Asbesto-Cemento	5.00
Fierro Galvanizado (Fo. Go.)	5.00
Acero	5.00
Polivinilo de Cloruro (PVC)	5.00
Polietileno de Alta Densidad (PAD)	5.00

Fuente: Datos recopilados de la CNA 1992.

- d. Dibujar las líneas piezométrica y de gradiente hidráulico sobre el perfil del terreno.
- Verificar que la línea piezométrica se localice al menos 4 m por arriba del nivel del terreno natural
  - Las presiones actuantes máximas al interior de los diferentes tipos de tuberías deben ser menores a las que soporta la tubería. En caso de ser requerido, se propondrá otra tubería más resistente del mismo tipo o de diferente material o se optará por la construcción de cajas rompedoras de presión si se presenta el caso
  - Identificar posibles zonas de aplastamiento y formación de vacíos y azolve a lo largo de la tubería
  - Especificar la instalación de válvulas de Admisión y Expulsión de aire (VAEA) en los puntos más altos de la línea para la liberación de aire atrapado al momento del llenado de la tubería, así como la admisión de éste cuando se presente una subpresión. Aún cuando el terreno se considere como plano, se deben colocar válvulas de expulsión de aire (VEA) como máximo a cada 1500 m, esto para permitir el llenado de la línea
  - Tener el cuidado de colocar válvulas de desazolve o tapas ciegas en su defecto en los puntos más bajos de la línea, esto para permitir el drenado y limpieza de la misma

# 4

## MODELACIÓN DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

## 4. MODELACIÓN DE LA LINEA DE CONDUCCIÓN

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Los softwares para modelación hidráulica, son herramientas útiles para adoptar una actitud y análisis crítico de la disposición de tipos de tuberías, velocidades medias internas, presiones actuantes y que soportan las tuberías a lo largo de una línea de conducción o un sistema de entrega de agua potable, así como analizar problemas y optimizar el funcionamiento y la operación tanto de líneas de conducción como de los sistemas de distribución de agua.

Los ingenieros encargados de modelar estos sistemas de conducción y distribución se encuentran frecuentemente con el planteamiento de los siguientes cuestionamientos:

- Es lógico y eficiente el diseño del sistema para poder suministrar el caudal dentro de las presiones permisibles
- La línea de conducción aprovecha las ventajas de los flujos por gravedad, es a bombeo o consta de ambas formas de trabajo
- Esta adecuadamente diseñado para evitar subpresione, sobrepresiones, fugas y pérdidas de agua

Para la modelación de la línea de conducción del presente tema de tesis se hará uso del programa Epanet, que es un software de apoyo para el análisis y la modelación de líneas de conducción de agua y sistemas de abastecimiento, en el caso específico de este tema de tesis, de una línea de conducción por gravedad.

Dentro de los posibles softwares que sirven como una herramienta de ayuda en la modelación de tanto de líneas de conducción como de redes de distribución de agua, se encuentran los que a continuación describen.

### 4.2 EPANET COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO

#### 4.2.1 *¿Qué es Epanet?*

El Epanet es una herramienta de software que permite al usuario analizar el comportamiento hidráulico y de calidad del agua tanto de redes de tuberías a presión como de líneas de conducción de agua sometidas a la misma acción de presión.

En general, una red o línea a presión consta de tuberías, nudos (conexiones entre tuberías), bombas, válvulas y tanques de almacenamiento o depósitos. El alcance de este software, en general, es el de determinar el caudal que circula por cada una de las interconexiones, la presión en cada nudo o cambio brusco de la línea, el nivel de agua en cada tanque y la concentración de diferentes componentes químicos a través de la línea o la red durante un determinado periodo de simulación en diferentes intervalos de tiempo; también es posible el determinar la edad de las tuberías en uso en una red o línea de conducción.

El programa Epanet puede ser empleado bajo sistemas operativos Windows, ofreciendo un entorno de trabajo integrado para la edición de los datos de entrada de una línea o una red tanto para el cálculo hidráulico y simulaciones de calidad del agua, así como para visualizar los resultados obtenidos en una amplia variedad de formatos. Esta variedad incluye planos con códigos de colores, tablas de datos, gráficos con evoluciones temporales de diferentes variables, etc.

Entre la multitud de aplicaciones de Epanet cabe destacar la planificación de mejoras en las redes, el trazado y selección de nuevos elementos, la detección de los “cuellos de botella” de una red, la evaluación de la calidad y tiempo de vida de los materiales de que están hechas las tuberías, la regulación de las presiones en una red o línea, la reducción de los costos de operación, la previsión de la respuesta de la red ante la clausura de un punto de alimentación o la incorporación de nuevas redes a otras zonas de urbanización, la planeación de actuaciones en casos de emergencia, sectorización de la red para el control de fugas, etc.

Este software fue desarrollado por la U.S. Environmental Protection Agency’s National Risk Management Research Laboratory y traducido a una versión española por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia y es una herramienta de diseño de distribución gratuita.

#### 4.2.2 Análisis hidráulico

El modelo de simulación hidráulica del Epanet permite el cálculo de la altura en las conexiones y caudales en líneas para un conjunto fijo de niveles de depósitos, tanques y demandas de agua a lo largo de una sucesión de instantes determinados temporalmente, por lo que desde un instante de tiempo los anteriores niveles del depósito y demandas en las conexiones se actualizan utilizando los datos solución del caudal a transportar.

La solución de una altura y caudal en una determinado punto de una conexión a lo largo del tiempo supone un cálculo simultáneo de la conservación del caudal en cada intersección y la relación de pérdidas que supone su paso a través de las conexiones de todo el sistema. Este proceso, conocido como “equilibrio hidráulico”, requiere métodos iterativos de solución de ecuaciones no lineales, por lo que Epanet utiliza el “Algoritmo del Gradiente” para plasmar un resultado óptimo.

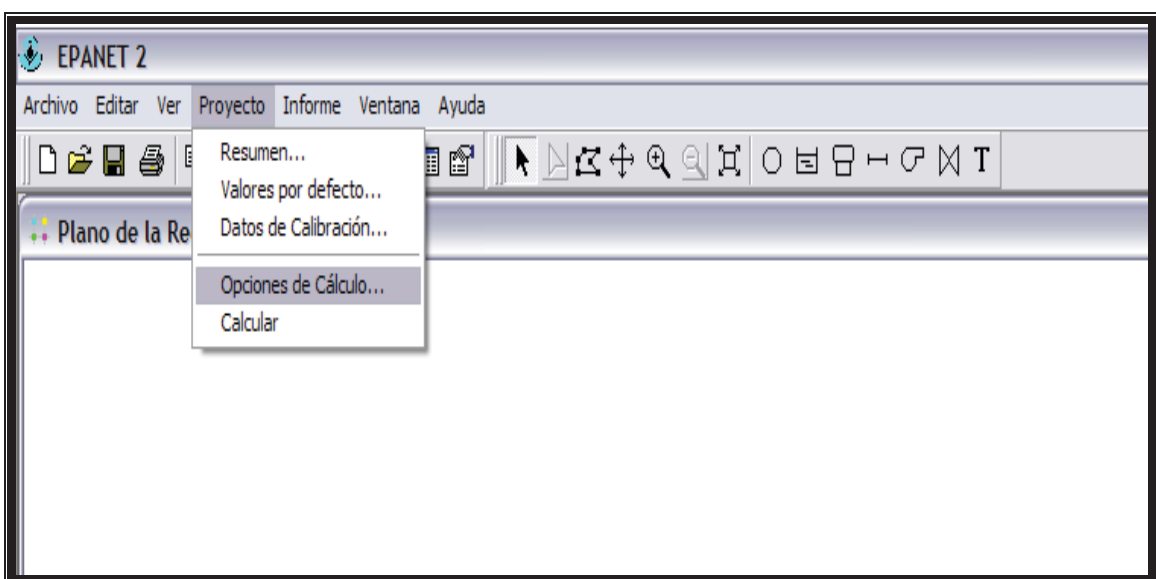


Figura 10. Pestaña de Opciones de Cálculo del Epanet

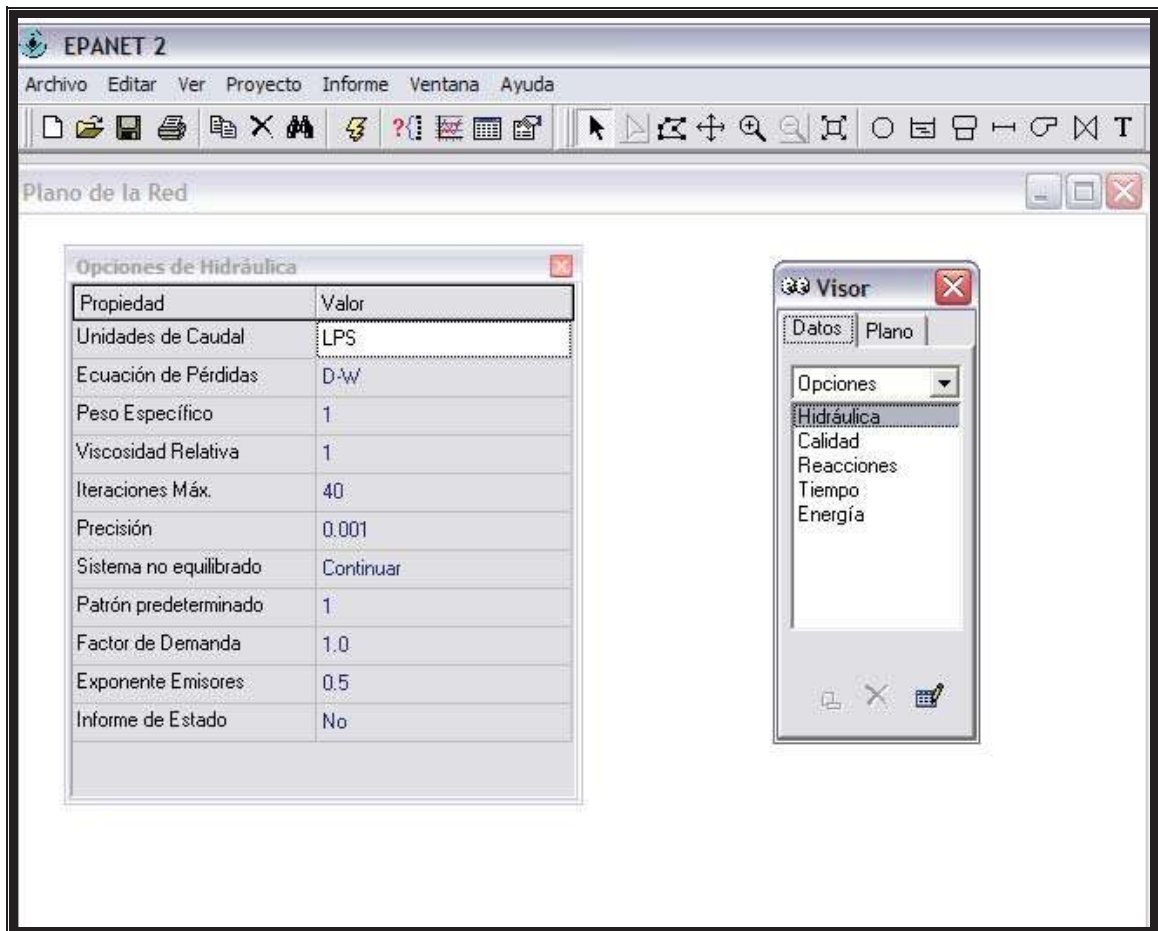


Figura 11. Toma de unidades previo a la realización de cálculos en el programa

Previo al análisis se debe contar con la siguiente información y decisión de las fórmulas a utilizar para la determinación de las pérdidas al paso de la red o línea de conducción, por lo que se procede a continuación a observar los parámetros elegidos en el proceso del cálculo, así como observar como es la entrega del informe de los resultados obtenidos por el programa (Figuras 10 y 11 y 12):

- *Unidades del caudal:* Son las unidades en las cuales serán expresados los caudales en los nudos y los caudales de paso por las líneas de conducción. Si se escogen (l/s) ó ( $m^3/s$ ), entonces las restantes magnitudes serán expresadas en unidades métricas. Se debe tener cuidado de no cambiar las unidades o en su defecto revolverlas, puesto que esto afectaría de manera significativa el resto de los datos y resultados obtenidos en el proyecto
- *Fórmula de pérdidas:* Las formulaciones utilizadas para calcular las pérdidas de carga en función del caudal que se requiere pasar por determinada longitud de tubería. Las opciones que el programa maneja son: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach y Chezy-Manning. Se deberá tener especial cuidado en esta parte de la selección de con qué formulaciones se trabajará, pues esto determinará los tipos de coeficientes de rugosidad o factores de fricción que se deberán introducir al programa previo a la simulación de una red o línea de conducción, esto atendiendo a que cada material de las tuberías varía en estos coeficientes o factores

- *Peso específico relativo*: Es la relación que existe entre la densidad del fluido que se pretenda transportar por la red o línea y la densidad del agua a 4 °C, ocupada en los cálculos internos del programa
- *Viscosidad Relativa*: Se define como la relación entre la viscosidad cinemática del fluido al interior de las tuberías y la del agua a 20 °C
- *Informe de estado*: Dentro de éste apartado se especifica el volumen de información a incluirse en el informe emitido por el programa una vez haya finalizado una simulación. Según la opción deseada por el usuario, se puede obtener un informe sencillo o completo del análisis

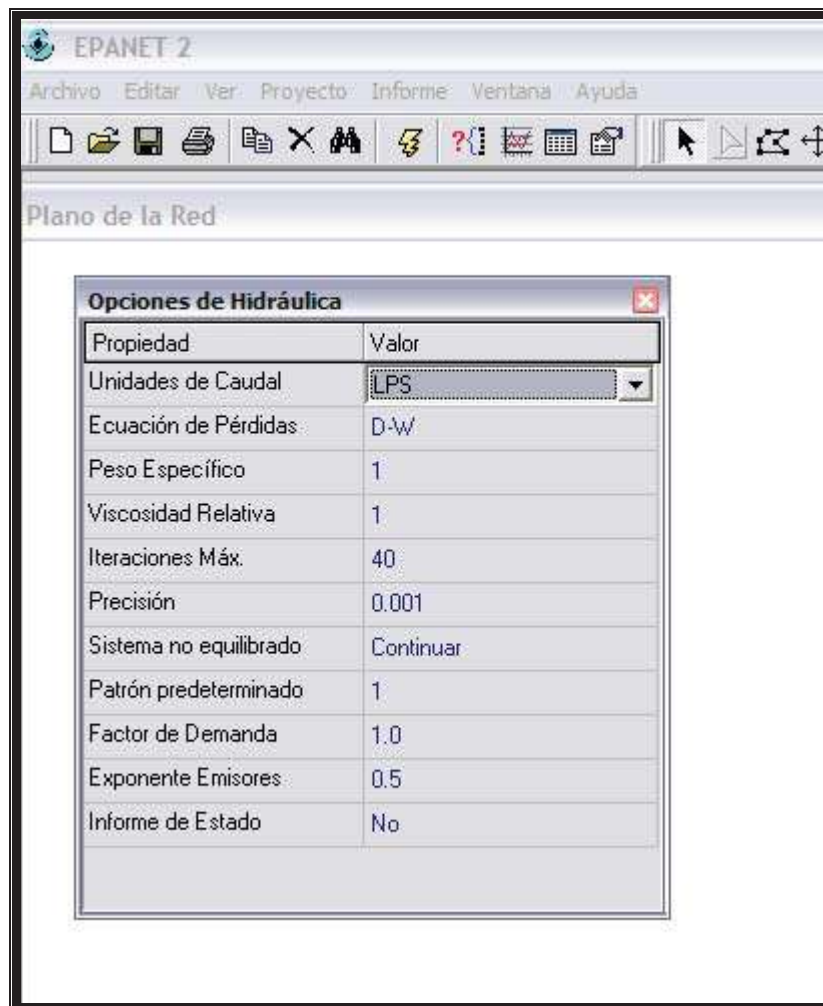


Figura 12. Opciones hidráulicas del programa

### 4.2.3 Simulación hidráulica

Para la realización de un modelo de calidad del agua es necesario disponer de un modelo hidráulico preciso y completo. Epanet funciona como una herramienta de análisis hidráulico que consta las siguientes características:

- No existe límite tanto de las interconexiones de una red, así como de la longitud y disposición de una línea de conducción a analizar
- Las pérdidas por fricción en las conducciones se calculan mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach, o Chezy-Manning (Figura 12)



- Las pérdidas locales o menores en conexiones tales como codos, acoplamientos, reducciones, ampliaciones, etc., son incluidas en el cálculo de las de fricción
- Permite modelar bombas con un funcionamiento de velocidad de giro constante o variable
- Calcula la energía consumida y el costo del bombeo
- Puede modelar consumos que dependan de la presión que se conduzca al exterior del sistema a través de emisores como rociadores, aspersores o válvulas aliviadoras de presión.
- Considera la posibilidad de establecer diferentes categorías de consumo en los nudos
- Etc.

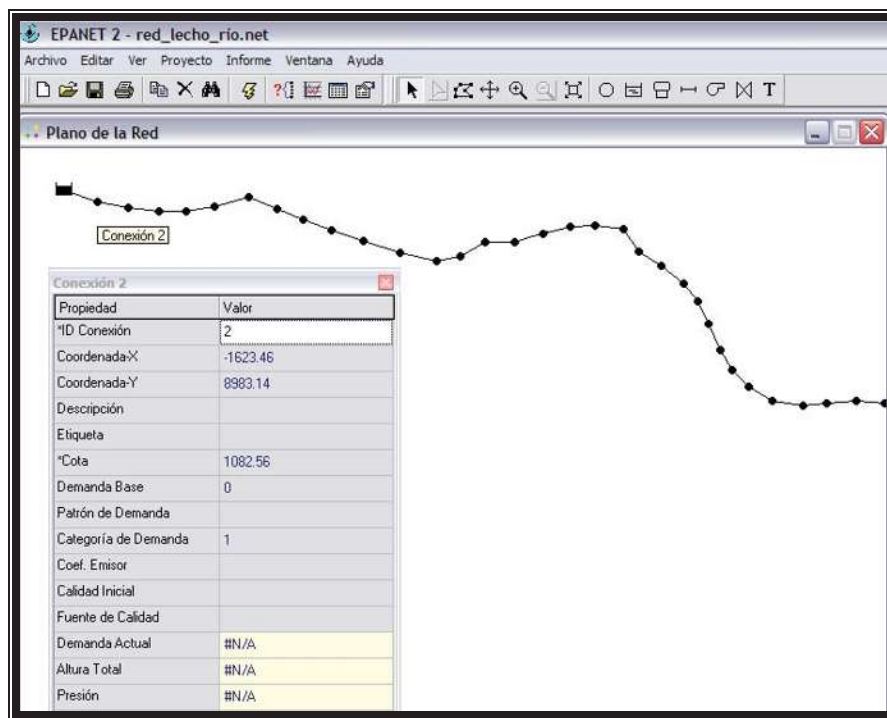




Figura 13. Simulación y despliegue de resultados de una línea de conducción usando Epanet

Ahora bien, para llevar a cabo una simulación hidráulica mediante el uso de este software, hay que proceder de la siguiente manera:

1. Seleccionar un proyecto y darle “calcular” en la barra de menús ó pulsar el botón  de la barra de herramientas estándar (Figura 10)
2. Mientras se realiza el proceso de análisis y los cálculos el avance se mostrará en una “ventana de estado”
3. Presionar “aceptar” cuando se termine la simulación. Si el cálculo terminó con éxito aparecerá el ícono  en la sección de “estado de la simulación” de la barra de estado, situada al pie del área de trabajo de Epanet. Cualquier error o advertencia es mostrado en una ventana emergente cuando la simulación no haya tenido éxito, mostrando el contenido del Informe del Estado que guarde la línea o red hasta ese momento. Si las propiedades de la red son configuradas después de realizar satisfactoriamente un análisis, el ícono del grifo cambiará por un ícono de grifo cerrado, indicando que los resultados actuales no son aplicables al sistema modificado (Figura 13)

Una vez que el resultado de la modelación del sistema, red o línea de conducción haya finalizado satisfactoriamente se procede a revisar los valores de presiones en los nudos y a la salida del sistema, caudales en los diversos tramos de tubería que compongan al sistema, las pérdidas en cada tramo, etc.

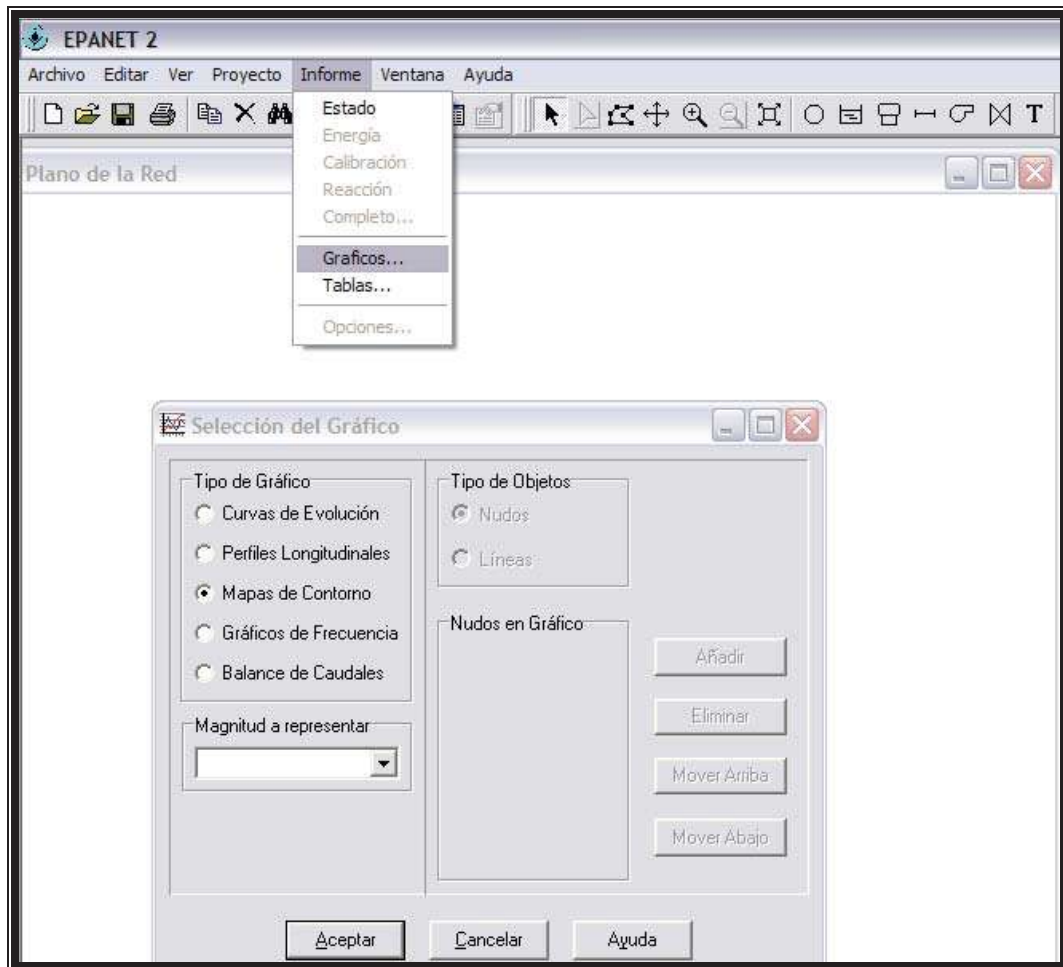


Figura 14. Generación de gráficos y tablas en Epanet

El programa Epanet cuenta con diferentes formas de plasmar la base de datos y los resultados de la simulación, ya sea de una forma directa en el plano del “área de trazado” o por medio de tablas (Figura 14), como son:

1. Los nudos y líneas del plano son coloreados siguiendo un código de colores representado en la “leyenda del plano” (Figura 15)
2. Cuando en las preferencias del programa se selecciona la opción de “etiqueta flotante”, el movimiento del ratón sobre un nudo o línea permitirá visualizar su ID de etiqueta y los valores actuales de los parámetros en cuestión para ese nudo o línea

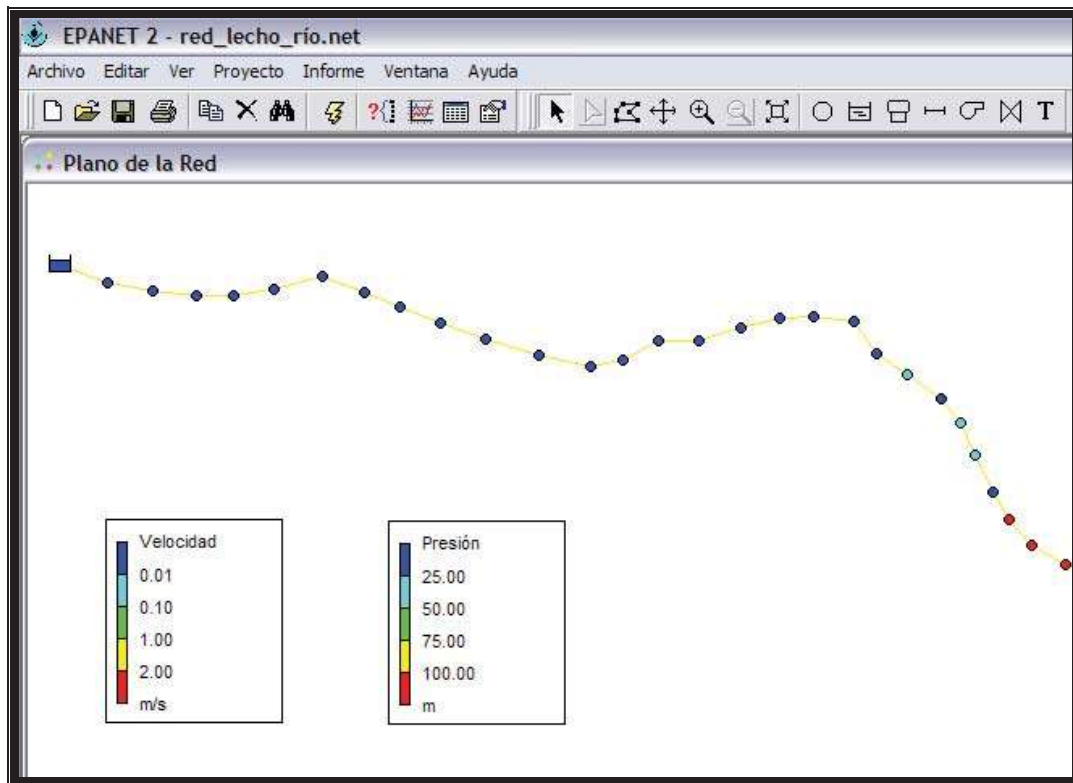


Figura 15. Despliegue de resultados obtenidos por medio de gráficas y nudos coloreados

3. Las etiquetas ID y el valor del parámetro en estudio pueden también ser mostrados a un lado de todos los nudos y/o líneas
4. Los nudos y líneas con determinado criterio pueden ser identificadas y activadas invariablemente
5. La presentación de los resultados puede ser mediante tablas de formato similar al presentado por Excel o alguna otra hoja de cálculo de uso común hechos a mano, incluyendo o descartando la presentación de ciertas columnas dentro de la tabla de entrega, ya sea atendiendo a valores de los nudos o en su defecto los de las líneas (Figura 16)
6. Mediante el uso de gráficas, el programa Epanet también permite generar una presentación final de los resultados obtenidos mediante la simulación del sistema
7. Los planos y tablas pueden ser impresos, copiados al portapapeles de Windows o guardados como un archivo con extensión .DXF ó metafile

ID Nudo	Cota m	Altura m	Presión m
Conexión 2	1082.56	1099.16	16.60
Conexión 3	1088.31	1099.01	10.70
Conexión 4	1084.65	1098.90	14.25
Conexión 5	1090.59	1098.74	8.15
Conexión 6	1081.88	1098.38	16.50
Conexión 7	1093.23	1098.18	4.95
Conexión 8	1081.19	1098.10	16.91
Conexión 9	1095.82	1097.72	1.90
Conexión 10	1082.88	1097.47	14.59
Conexión 11	1096.85	1096.85	0.00
Conexión 12	1083.72	1096.70	12.98
Conexión 13	1091.78	1096.22	4.44
Conexión 14	1083.51	1095.06	11.55
Conexión 15	1093.08	1094.27	1.19
Conexión 16	1081.96	1094.07	12.11
Conexión 17	1081.12	1093.62	12.50
Conexión 18	1079.68	1093.30	13.62
Conexión 19	1088.71	1090.51	1.80
Conexión 20	1068.33	1090.25	21.92
Conexión 21	1078.55	1089.49	10.94
Conexión 22	1063.08	1089.00	25.92
Conexión 23	1077.88	1087.46	9.58
Conexión 24	1081.50	1086.63	15.03

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Factor de Fricción
Tubería 1	332.18	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 2	57.01	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 3	45.62	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 4	62.64	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 5	140.88	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 6	79.46	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 7	31.47	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 8	149.59	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 9	99.8	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 10	243.27	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 11	59.78	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 12	188.45	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 13	457.37	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 14	311.99	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 15	77.51	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 16	176.56	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 17	125.69	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 18	1100.81	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 19	100.92	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 20	300.34	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 21	193.15	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 22	607.72	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016
Tubería 23	368.13	411.0482	0.1	150.00	1.13	0.016

Figura 16. Presentación en tablas de los resultados obtenidos de la corrida del programa

### 4.3 OTROS PROGRAMAS DE DISEÑO

En la actualidad existen diferentes programas que auxilian en el desarrollo del diseño de una línea de conducción siendo más frecuente encontrarse con aquellos programas que realizan evaluaciones nodales (particularmente de redes de agua), pero que opcionalmente tienen la particularidad de poder ser usados para evaluar una sola línea de conducción (que a groso modo podría ser vista como una red). A continuación se presenta una serie de programas desarrollados tanto para la evaluación de redes, como de problemas particulares que se presentan en una línea de conducción:

#### 4.3.1 PIPESIM

Se trata de un software desarrollado para el análisis nodal de redes, el cual es distribuido por Schlumberger. Incluye una gama de análisis como: modelación de análisis nodal, optimización de elevaciones artificiales y procesos de modelado y planificación de campo. En si, este software es mayormente utilizado en conductos de transporte de gas y petróleo.

#### **4.3.2 Programa Ariete**

Es un software desarrollado por el Instituto Mexicano en Tecnología del Agua (IMTA), el cual se centra en observar el problema del fenómeno transitorio (Ariete) en las líneas de conducción, simplemente limitándose a su evaluación, una vez se es conocida la forma de la línea de conducción.

#### **4.3.3 Programa SCAD-RED**

Este otro software también es desarrollado por el IMTA y se centra en el análisis de redes de agua en general, pero se puede implementar para el análisis de líneas, como es el caso del EPANET y el PIPESIM.

#### **4.3.4 Cálculo del diámetro económico**

Por medio de esta metodología es posible llegar a encontrar una solución favorable atendiendo al problema de costos de inversión por concepto de la implementación de una nueva línea de conducción, considerando los costos para su construcción, tales como: tuberías, atraques, traslado desde la fábrica de las tuberías hasta el sitio de instalación, desmonte, topografía, estudios hidráulicos, etc.

Una vez que se han calculado los costos por concepto de inversión anualizados se comparan con el costo por concepto de bombeo (variable para cada diámetro de tubería) que sea menor, encontrando así el diámetro que resulte el más económico de instalar en la línea de conducción. Por lo general este método es utilizado en líneas que utilizarán un solo tipo de tubería y en las que los costos por bombeo e inversión anualizada pueden ser equiparables directamente, aunque cuenta con la opción de hacer uso de varios diámetros a lo largo de la línea.

#### **4.3.5 Evaluación multicriterio**

El análisis o evaluación multicriterio constituye una forma de modernizar los procesos de decisión. Brinda los conceptos, aproximaciones, modelos y métodos para auxiliar a los proyectistas a describir, evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos en base a una evaluación expresada en puntaje o valores, de acuerdo a varios criterios.

Un elemento aunado a la complejidad del proceso de decisión, es la concurrencia de elementos a evaluar con variaciones a lo largo de la traza, generando múltiples escenarios en la valoración de rutas de conducción. En el terreno estas valoraciones pueden ser tomadas en cuenta mediante un sistema de información geográfica e integrarlo en el proceso de decisión, vinculado a las alternativas de expresión territorial.

Esta herramienta de diseño permite realizar la comparativa de distintas líneas de diseño aplicando las dos metodologías siguientes:

- Análisis por Jerarquías Analíticas
- Análisis del Punto Ideal

Debido a la complejidad de factores que intervienen en su uso y aunado a que su utilización ha estado restringida a proyectos de gran envergadura, el conocimiento de esta técnica de diseño, así como su puesta en práctica es reducida. En el presente proyecto de tesis se elige como herramienta de diseño para el cálculo de presiones y velocidades máximas y mínimas en la línea de conducción al programa Epanet, esto por su gran manejabilidad y flexibilidad respecto de los anteriores programas y métodos expuestos.

#### 4.4 PLANTEAMIENTO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN

A continuación se describirán las dos alternativas planteadas como solución al problema del transporte de un caudal de aproximadamente 150 l/s generado en la confluencia de los manantiales de “La Caña”, a través de una línea de conducción hacia el punto de interés (un tanque de regularización cercano a la población de Arteaga, Mich., a la salida a Tumbiscatío), mediante la implementación de diferentes tipos de tuberías a lo largo de la conducción, esto para reducir los costos de inversión en la obra (utilizando tuberías de polietileno de alta densidad y acero de distintas resistencias a la presión interna, según sea requerida).

El terreno describe una configuración de desniveles como se muestra a continuación en la Figura 17.

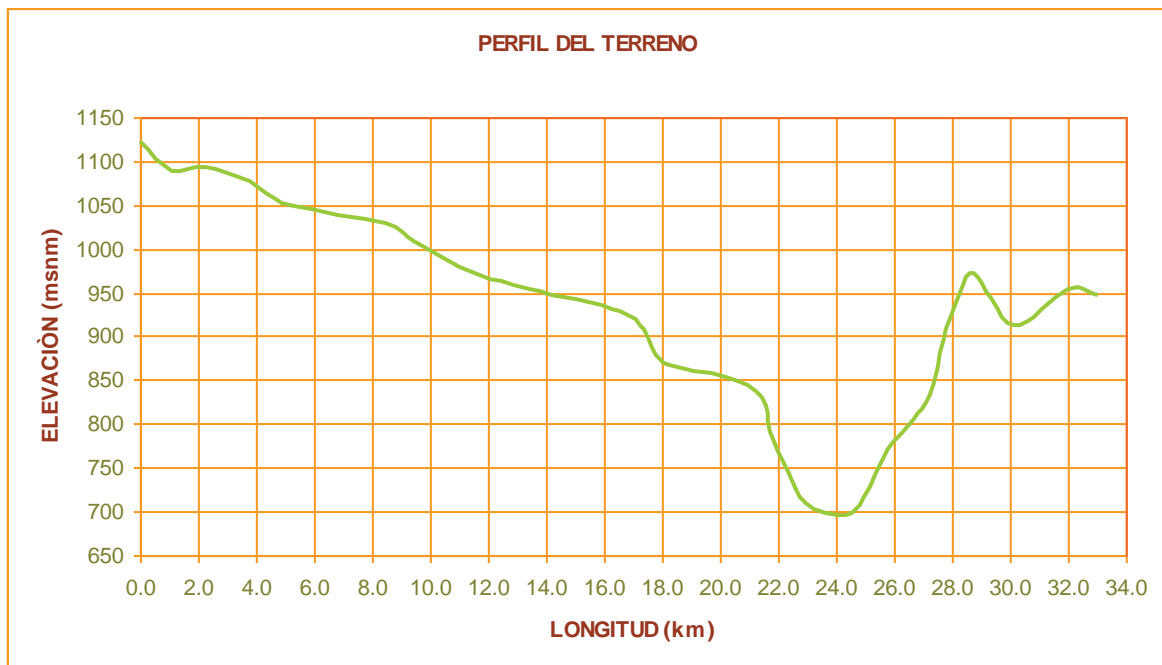


Figura 17. Perfil del terreno natural

Los problemas principales que plantea la implementación de la línea de conducción son:

- La línea de conducción presenta un declive y un ascenso ( Figura 17)
- El desnivel topográfico entre el punto de captación y el de entrega del agua es muy reducido (176 m aproximadamente)
- Ya sea que el descenso sea gradual (ladereando) o brusco (bajando inmediatamente por zonas escarpadas), se debe atravesar una pequeña corriente superficial (Arrollo El Toscano), que implica en cualquiera de los casos tener un desnivel topográfico desde el punto de confluencia de los manantiales hasta la parte baja del accidente topográfico de 425 m aproximadamente
- No plantea algún problema mayor el tener que atravesar el arroyo “El Toscano”, ya sea de forma superficial, hundiendo la tubería por debajo del nivel de socavación (que pudiese presentarse y determinarse de acuerdo a un estudio de transporte de sedimentos y socavación en el lecho del arroyo) o mediante tensores a ambos extremos del arroyo (tratando así de salvar el nivel máximo de aguas que podría llegar a presentarse en una avenida extraordinaria, esto determinado a través de un estudio hidrológico para un determinado periodo de retorno)
- La tubería que se encontrará en la parte más baja del desnivel tendrá que ser de acero y de un espesor lo suficientemente grande como para resistir la presión que como mínimo será el desnivel entre ambos puntos (425 m aproximadamente)
- El recorrido que debe hacer el agua al interior de la tubería será aproximado a 30 km, lo que implicará grandes pérdidas por fricción al interior de ésta, mayores en demasía a las que se pudieran generar como pérdidas locales
- Se requiere el uso de grandes diámetros de tubería que permitan el paso de forma holgada del agua al interior sin que generen mayores pérdidas que reduzcan la posibilidad de salvar el desnivel con que se cuenta entre la toma y la entrega, puesto que la línea de conducción está planteada funcione por gravedad
- El uso de diámetros pequeños en el diseño de la línea generaría un incremento en la velocidad del paso del agua al interior de la tubería, lo que incurriría directamente en las pérdidas que se generasen, impactando y reduciendo de manera sustancial en el desnivel entre el punto de toma y el de entrega

Para una mejor comparación respecto a las posteriores alternativas de la línea de conducción se introducen costos netos a invertir en cada una de las alternativas, que se mencionarán de manera general.

A continuación se plantea el catálogo de conceptos de los costos considerados dentro del presente proyecto de tesis:

- Trazo y nivelación para la instalación de tubería a lo largo de la línea de abastecimiento
- Excavación en cualquier material para la instalación de tubería y/o atraques (de 0.0 m a 2.0 m de profundidad)
- Fabricación y colocación de concreto requerido en la conformación de atraques (de  $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$ )



- Suministro e instalación de abrazaderas metálicas en atraques
- Relleno con material producto de excavación en atraques
- Excavación en cualquier material para la instalación de tubería (de 0.0 m a 2.0 m de profundidad)
- Relleno con material de excavación distribuido con maquina en la línea de abastecimiento
- Formación de plantilla con material de banco para recibir la tubería de conducción, incluyendo el material hasta el sitio de su utilización
- Suministro y colocación en obra de tubería de polietileno de alta densidad (de diferentes diámetros y resistencias) para la línea de abastecimiento, incluyendo cargas y descargas necesarias, almacenamiento en obra y puesta al pie del trazo
- Suministro y colocación en obra de tubería de acero al carbón (de diferentes diámetros y resistencias a la presión) para la línea de abastecimiento, incluyendo cargas y descargas necesarias, almacenamiento en obra y puesta al pie del trazo
- Suministro e instalación de piezas especiales fabricadas de material necesario para su unión en cambio de material de la línea de abastecimiento
- Suministro e instalación de piezas especiales de la línea de abastecimiento (codos, tee, etc.)
- Limpieza del interior de la tubería de acero al carbón y piezas especiales para la línea de abastecimiento
- Limpieza del interior de la tubería de polietileno de alta densidad y piezas especiales para la línea de abastecimiento
- Suministro y colocación de pintura anticorrosiva en el interior de la tubería de acero al carbón para la línea de conducción, colocando en la superficie primario epóxico catalizado de altos sólidos
- Suministro y colocación de pintura anticorrosiva en el exterior de la tubería de acero al carbón para la línea de conducción, colocando en la superficie base de primario alquitrán de huella y esmalte aplicado
- Suministro e instalación de válvulas de admisión y expulsión de aire
- Suministro e instalación de válvulas de expulsión de aire
- Suministro e instalación de válvula de seccionamiento
- Suministro e instalación de tapa ciega para desfogue
- Construcción de obra de captación (solo obra civil)
- Suministro e instalación de rejilla con charola de escurrimiento para retener sólidos que puedan obstruir o taponar la tubería de conducción
- Suministro y colocación de piedra colocada en la zona de retención de sólidos grandes que puedan interferir en la captación del agua hacia el sistema de conducción de agua

#### 4.4.1 Primera alternativa

La primera alternativa sobre el planteamiento de la línea de abastecimiento consta de una longitud sobre el terreno natural de poco más de 29.5 km, haciendo uso de tuberías de acero y polietileno de alta densidad, dos tramos de polietileno de diferentes diámetros y resistencias de aproximadamente 8.8 km en conjunto (ver Tabla 4.1), así como un único tramo de tubería de acero de igual resistencia y diámetro de cerca de 20.7 km

En este primer planteamiento en el que se proyecta el paso de la línea de conducción a través del terreno montañoso en el sitio de interés, se hizo pasar la línea lo más cercana posible a las brechas y senderos existentes en el lugar, desde la confluencia de los manantiales hasta la llegada al punto donde se estipuló la entrega del líquido al tanque de regularización, pasando antes por accidentes topográficos tales como:

- Una escarpada superficie al inicio de la línea de conducción
- El cruce del pequeño cauce del arroyo “El Toscano”
- Atravesar las pequeñas comunidades de “El Zapote de Toscano” y “Las Chupaderas”, cercanas al trazado de la línea
- Pendiente positiva adversa determinada por un declive de una montaña con pendiente adversa y nuevamente un declive de pendiente positiva hacia el tanque de regularización (esquema representado en la Figura 17)

Esta primera alternativa, que plantea un fácil acceso a la zona tanto de los materiales necesarios para la construcción de la obra de captación, así como de las tuberías a lo largo de la línea de conducción, tiene una gran desventaja respecto a los costos de las tuberías a utilizar a lo largo de la línea, puesto que los senderos por donde se baja hacia el cauce del río la caña lo hacen de una manera muy abrupta y al inicio de la línea de conducción, lo que implica:

- *En primera*, el uso de tubería de acero en una gran porción de la longitud de la línea con el respectivo gran diámetro de la tubería para evitar en lo mínimo incrementar las pérdidas por fricción (que implican un elevado costo por concepto de tuberías)
- *En segunda*, puesto que se debe hacer bajar a la tubería por una superficie muy escarpada al inicio de la línea, se tendrán que construir muchos más atraques y más seguidos que los que se podrían necesitar en un descenso menos sinuoso, nuevamente esto repercutiendo en el incremento de los costos de construcción

De acuerdo al catálogo de conceptos a considerar, expuesto con antelación y basado en el Anexo A-2.1, se determina que el valor total de la obra es de aproximadamente de \$89'000,970.47 pesos.

#### **4.4.2 Segunda alternativa**

Como segunda opción del paso de la línea de conducción sobre el terreno natural del sitio se plantea ir ladereando por las montañas del sitio hasta descender al nivel del arroyo “El Toscano”, salvar el accidente y nuevamente continuar ascendiendo por la montaña hasta llegar al punto prefijado de entrega del líquido.

Esta segunda opción de diseño contempla una reducción en el costo por concepto de adquisición de tubería de acero, puesto que la longitud en la línea de conducción en donde se requerirá de la tubería más resistente (la de acero) se ve reducida en gran medida, aumentando la longitud de tubería de polietileno a necesitar. La nueva propuesta plantea el uso de 6 diferentes resistencias de tuberías pero solo manejando dos distintos materiales (polietileno de alta densidad y acero), así como tan solo tres distintos diámetros.

Como se mencionó, la reducción en el uso de tubería de acero se debe a que el descenso hacia la parte más baja de la línea se hace de manera gradual, coadyuvando a que se puedan utilizar mayores tramos de tubería de polietileno en la línea. El descenso gradual permitirá la disminución del uso de atraques y mayor estabilidad en campo de la tubería. El inconveniente que tiene esta propuesta es que, al ser una zona de difícil acceso, por ser campos de pastoreo, no cuenta con brechas o caminos rústicos que permitan el acceso de los materiales y la entrega de tubería al sitio.

La distribución de tubería a lo largo de la línea, que para esta segunda alternativa sumó una longitud de 33 km aproximadamente, queda como sigue:

- 10.38 km de tubería de acero en tres tramos y haciendo uso de dos diferentes diámetros y resistencias a la presión
- 22.66 km de tubería de polietileno de alta densidad en tres tramos con 3 diámetros y resistencias a la presión diferentes

De acuerdo al catálogo de conceptos a considerar, expuesto con antelación y basado en el Anexo A-2.2, se determina que el valor total de la obra es de aproximadamente de \$72'447,257.62 pesos.

### **4.4. RESULTADOS OBTENIDOS**

#### **4.4.1. Resumen de los nudos y tramos de la primera opción propuesta en Epanet**

La siguiente tabla muestra a manera de resumen los tipos de tuberías, sus resistencias, diámetros interiores y nominales, longitud parcial respecto de la línea de conducción y presiones máximas y mínimas registradas al evaluarlas en el programa Epanet, con el cual se desarrollaron los cálculos para ambas alternativas de diseño.

<b>Tabla 6. PROPUESTA No. 1 PARA EL DISEÑO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN</b>			
CONCEPTO	ESPECIFICACIONES		
Tipo de tubería	Polietileno PAD	Acero $f_y$ de 2530 kg/cm <sup>2</sup>	Polietileno PAD
Cadenamiento (km+m)	0+000 5+310	5+310 26+021	26+021 29+575
Longitud (km)	5.310	20.711	0.723
Diámetro Nominal (mm)	508	406.4	355.6
Diámetro Interior (mm)	411.05	387	327.96
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	18.63 RD-7	62.10	9.14 RD-13.5
Presión máx. de Trabajo (kg/cm <sup>2</sup> )	18.61	49.34	8.17

En esta primera tabla y de acuerdo al informe del estado de la línea tras la modelación en el programa Epanet, se puede observar lo siguiente en esta primera propuesta de diseño:

- Puesto que se requirieron grandes diámetros para el transporte del caudal sin tener un gran número de pérdidas por fricción a lo largo de la longitud de la línea, y de igual manera que esta tubería tuviera el espesor necesario como para soportar la presión de trabajo, se observa que los diámetros nominales escogidos son muy grandes, pero los interiores están reducidos en gran medida, esto debido al calibre de la tubería en cada caso
- En ningún momento se está rebasando la resistencia de la tubería por la presión máxima de trabajo a que se encuentra sometida la tubería
- La presión del caudal a la salida de la línea de conducción está marcada como 11.49 kg/cm<sup>2</sup> (ver Anexo A-3.1)
- Las velocidades máximas alcanzadas respectivamente al interior de la tubería de Polietileno fue de 1.78 m/s y en la tubería de Acero de 1.28 m/s, cumpliendo con no rebasar las velocidades máximas permisibles anteriormente expuestas (Tabla 5 y Anexo A-3.1)

A continuación se presenta un resumen del segundo planteamiento del diseño de la línea de conducción, donde se muestran los diferentes tipos de tubería, diámetros, espesores, resistencias, etc., utilizados a lo largo de la línea en el proyecto de dotación de agua para la población de Arteaga, Mich.

<b>Tabla 7. PROPUESTA No. 2 PARA EL DISEÑO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN</b>						
CONCEPTO	ESPECIFICACIONES					
Tipo de tubería	Polietileno PAD	Polietileno PAD	Acero $f_y$ de 2530kg/cm <sup>2</sup>	Acero $f_y$ de 2530kg/cm <sup>2</sup>	Acero $f_y$ de 2530kg/cm <sup>2</sup>	Polietileno PAD
Cadenamiento (km+m)	0+000 7+648	7+648 17+689	17+689 22+072	22+072 26+152	26+152 28+434	28+434 33+045
Longitud (km)	7.647	10.041	4.383	4.080	1.919	4.971

Diámetro Nominal (mm)	508.00	508.00	406.40	406.40	406.40	355.60
Diámetro Interior (mm)	438.53	360.45	396.80	345.00	396.80	299.77
Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	7.74 RD-15.5	17.86 RD-7.3	29.60	39.60	29.60	9.14 RD-13.5
P máx. de Trabajo (kg/cm <sup>2</sup> )	6.58	15.05	25.49	34.13	24.94	7.68

En esta segunda propuesta y de acuerdo a la tabla y al informe del estado de la línea tras la modelación en el programa Epanet, se puede observar lo siguiente:

- La máxima presión de trabajo es de 34.13 kg/cm<sup>2</sup>, que se presentan en un tramo de la tubería de acero dentro del Cadenamiento 22+072 – 26+152
- En ningún momento la presión actuante rebasa a la resistencia de las tuberías
- La presión del caudal transportado a la salida de la línea de conducción es de 4.41 kg/cm<sup>2</sup> (ver Anexo A-3.2)
- Las velocidades máximas alcanzadas al interior de las tuberías es de 1.6 m/s en la tubería de Acero y de 2.13 m/s en la de Polietileno (ver anexo A-3.2)

# 5

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El fin último del Ingeniero Civil es el implementar el uso de la técnica y conocimiento en la construcción de obras que permitan desarrollar el bienestar social; la construcción conlleva el uso de material, equipo humano, logístico, estratégico, constructivo, etc. El ingeniero Civil, como procurador del inicio, desarrollo y conclusión en buenos términos de cualquier obra que este a su cargo, deberá hacer énfasis y poner gran empeño y cauteloso cuidado en el correcto diseño de la obra a su encargo.

Tener la disponibilidad de contar con los datos suficientes para un adecuado afrontamiento del problema que plantee el desarrollo de determinada obra por parte del Ingeniero Civil, será de vital importancia para lograr una exitosa culminación de determinado proyecto. El presente proyecto de tesis abarca la problemática técnica a observar durante el planteamiento del diseño de una Línea de Conducción por Gravedad, explicando de la manera más sencilla posible la terminología técnica empleada, encaminado a una correcto y total comprensión de los puntos clave a observar en el desarrollo del diseño de la línea de conducción.

Basándose en literatura de hidráulica básica para la comprensión y obtención de pérdidas a lo largo de la línea, observando tanto las especificaciones y técnicas de diseño, así como los diferentes tipos de tubería y material a utilizar a lo largo de la línea de conducción, se plantearon las dimensiones de tubería mínimas necesarias para un correcto funcionamiento de la línea.

El problema que planteó y justificó el uso de diámetros muy grandes al inicio de la línea de conducción fue que se contaba con una gran longitud de tubería, lo que implicaba grandes pérdidas por fricción a lo largo de la línea. Aunado a las grandes pérdidas que implicaría el uso de diámetros de tubería reducidos, otro factor que influyó en el uso de grandes diámetros fue que el desnivel que existe entre la obra de captación en la confluencia de los manantiales al punto final de la línea de conducción y tanque de regularización. Entonces, el problema se encontró sujeto a encontrar la relación de diferentes diámetros de tubería que permitieran transportar el caudal de 150 l/s a lo largo de la línea de conducción y obtener pérdidas por fricción mínimas que no sobrepasaran el desnivel entre el punto de inicio y fin de la línea.

Con los 6 diferentes diámetros adoptados a lo largo de la línea de conducción, así como sus respectivas resistencias de presión interna, se logró salvar el problema que planteaba el uso de grandes diámetros para obtención de menores pérdidas, así como que se contaba en la parte más baja de la línea de conducción (en el cruce de la corriente superficial “El Toscano”) con un desnivel de 425 m aproximadamente, lo que implicó que en esa parte inferior se contara con tubería de alta resistencia que permitiera soportar como mínimo la presión de la línea de presiones estática (cuando la línea de conducción no se encuentre en funcionamiento).

Algunas de las recomendaciones que se plantea seguir cuando al Ingeniero Civil se le presenta algún problema referente al proyecto de tesis expuesto, son:

- Previo a abordar el problema, el Ingeniero Civil deberá asegurarse de que cuenta con la preparación profesional, conocimiento necesario e información



recabada a cerca de los problemas que plantee el diseño de la obra. De lo contrario, el ingeniero deberá darse a la tarea de procurar las investigaciones en campo y de literatura, que permitan un correcto planteamiento del problema y su diseño y conclusión

- Cuanto más experimentado y familiarizado esté el ingeniero encargado del diseño o alguno de los problemas que representa el diseño de determinada obra, así como haber abordado con antelación algún tipo de obra de la misma índole, le permitirá al ingeniero obtener un mejor y más rápido diseño
- Aunado al uso de una correcta literatura que permita un buen planteamiento de diseño, hoy en día se puede contar con ciertas herramientas de software que permiten un rápido análisis de diferentes propuestas de diámetros e inserción de diferentes longitudes de tubería. En el presente proyecto de tesis se planteó el uso del software de Epanet como auxiliar en el diseño de la línea de conducción
- Hoy en día se cuenta con una gran cantidad de software que permiten el auxilio en el desarrollo del diseño de líneas de conducción y redes, obteniendo diámetros interiores, velocidades máximas y mínimas, así como las presiones actuantes al interior de las tuberías
- El contar con herramientas de software en el proceso de diseño no es suficiente, se requerirá de que el ingeniero cuente con el conocimiento a detalle del funcionamiento de los programas, así como las variantes en su programación, ejecución e interpretación

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **BIBLIOGRAFÍA**

**Ranald V. Giles:** Mecánica de los Fluidos e Hidráulica; Editorial McGraw-Hill; Serie de compendios Schaum; Segunda edición; México, DF 1976

**J. M. de Azevedo Netto, Guillermo Acosta Álvarez:** Manual de Hidráulica; Editorial Harla; Sexta edición, 1975

**Gilberto Sotelo Ávila:** Hidráulica General, Volumen 1 Fundamentos; Editorial Limusa; Vigésimosexta reimpresión; México DF 2001

**Roger Agüero Pittman:** Agua potable para poblaciones rurales; Sistema de abastecimiento por Gravedad; Asociación de Servicios Rurales (SER) 1997

**Barredo, J. I.:** Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio; Ed. Ra-Ma; Madrid España 1996

**A - 1**

**CATÁLOGO DE TUBERÍAS  
(POLIETILENO Y ACERO)**

## **A N E X O 1**

### **CATÁLOGO DE TUBERÍAS (POLIETILENO Y ACERO)**

**A-1.1 TABLA DE DIMENSIONES DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD DE LA FÁBRICA NACIONAL “POLICONDUCTOS”**

**TABLA DE DIMENSIONES Y DE PRESIONES DE TRABAJO DE LA TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD DE POLICONDUCTOS**

Presión de trabajo (kg/cm <sup>2</sup> )	PSI	265		254		200		160		130		110		100		80		65		50		40		
		RD 7	RD 7.3	RD 9	RD 11	RD 13.5	RD 15.5	RD 17	RD 21	RD 26	RD 32.5	RD 41	RD 50	RD 61	RD 74	RD 91	RD 110	RD 135	RD 165	RD 205	RD 255	RD 325	RD 410	
Diámetro exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	Diámetro Exterior Nominal	Diámetro Interior Nominal	
%	0.840	0.120	0.259	0.115	0.206	0.098	0.144	0.083	0.125	0.101	0.141	0.123	1.639	0.112	1.663	0.090	1.709							
3/4	1.050	0.150	0.332	0.144	0.246	0.117	0.182																	
1	1.315	0.188	0.416	0.180	0.303	0.140	0.205	0.120	1.061															
1 1/4	1.660	0.237	1.158	0.227	1.179	0.184	1.270	0.181	1.340															
1 1/2	1.900	0.271	1.325	0.260	1.348	0.211	1.453	0.173	1.533	0.141	1.601	0.123	1.639	0.112	1.663	0.090	1.709							
2	2.375	0.339	1.656	0.325	1.686	0.264	1.815	0.216	1.917	0.170	2.002	0.153	2.061	0.140	2.078	0.113	2.135	0.091	2.182					
2 1/2	2.814	0.411	2.003	0.394	2.038	0.319	2.198	0.261	2.321	0.213	2.422	0.185	2.482	0.169	2.516	0.137	2.584	0.111	2.639					
3	3.500	0.500	2.440	0.479	2.485	0.389	2.675	0.318	2.836	0.259	2.951	0.226	3.021	0.208	3.063	0.167	3.146	0.135	3.214	0.108	3.271	0.085	3.320	
4	4.500	0.643	3.137	0.616	3.184	0.500	3.440	0.409	3.633	0.333	3.794	0.290	3.888	0.265	3.938	0.214	4.046	0.173	4.133	0.138	4.207	0.110	4.267	
6	6.805	0.946	4.819	0.908	4.908	0.736	5.055	0.602	5.343	0.481	5.564	0.407	5.720	0.390	5.798	0.315	5.937	0.255	6.064	0.204	6.183	0.162	6.282	
8	8.625	1.232	6.011	1.162	6.119	0.958	6.594	0.784	6.963	0.639	7.270	0.556	7.446	0.507	7.550	0.411	7.754	0.332	7.921	0.265	8.063	0.210	8.180	
10	10.750	1.536	7.484	1.473	7.627	1.194	8.219	0.977	8.676	0.796	9.062	0.694	9.278	0.632	9.410	0.512	9.665	0.413	9.874	0.331	10.048	0.262	10.186	
12	12.750	1.821	8.885	1.747	9.046	1.417	9.746	1.189	10.283	0.944	10.749	0.823	11.025	0.750	11.160	0.607	11.463	0.480	11.711	0.392	11.919	0.311	12.091	
14	14.000	2.090	9.760	1.918	9.934	1.586	10.701	1.273	11.301	1.037	11.862	0.903	12.086	0.824	12.253	0.667	12.886	0.536	13.059	0.431	13.206	0.341	13.277	
16	16.000	2.296	11.154	2.192	11.363	1.778	12.231	1.485	12.915	1.185	13.488	1.037	13.812	0.941	14.005	0.762	14.385	0.615	14.666	0.462	14.957	0.360	15.173	
18	18.000	2.571	12.546	2.466	12.772	2.000	13.760	1.636	14.532	1.333	15.114	1.161	15.508	1.050	15.795	0.857	16.183	0.692	16.533	0.554	16.806	0.430	17.000	
20	20.000	2.857	13.943	2.740	14.191	2.222	15.268	1.818	16.146	1.481	16.880	1.290	17.265	1.176	17.507	0.952	17.962	0.769	18.370	0.615	18.695	0.468	18.965	
22																								
24																								
26																								
28																								
30																								
32																								
34																								
36																								

\* Para otros diámetros y R<sub>0</sub>s consultar a Policonductos

A-1.2 TABLA DE DIMENSIONES DE TUBERÍA DE ACERO DE LA FÁBRICA NACIONAL “VILLACERO”

# Tubería en Diámetros Mayores

LÁMINA Y PLACA  
COMERCIAL

Lamina y Placa Comercial ofrece la Tubería en Diámetros Mayores con el fin de satisfacer el mercado nacional e internacional a través del más amplio inventario y un servicio excelente en calidad y tiempos de entrega.



## TUBERÍA EN DIÁMETROS MAYORES

ESPESOR		.172	.188	.203	.219	.250	.281	.312	.322	.330	.344	.365
DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR											
6"	6.625	17.67	19.27	20.76	22.31	25.36	▲ 28.28	31.32			34.34	
8"	8.625		25.26	27.22	29.28	33.31		41.24	▲42.65		45.34	
10"	10.750		31.62	34.08	36.67	41.75					56.96	▲ 60.29
12"	12.750		37.62	40.55	43.63	49.71	55.75	61.69		● 65.18	67.90	
14"	14.000		41.35		47.99	■ 54.69	61.35	67.90			74.76	
16"	16.000		47.34	51.06	54.96	■ 62.84	70.30	77.83			85.71	
18"	18.000					■ 70.80	79.24	87.75			96.66	
20"	20.000					■ 78.55	88.19	97.67			107.60	
24"	24.000					■ 94.46	108.08	117.51			129.50	
30"	30.000					118.33	132.91	■ 147.28			173.34	
36"	36.000					142.13	159.97	■ 176.98			195.11	
48"	48.000										260.85	

ESPESOR		.375	.406	.438	.469	.500	.562	.625	.688	.750	.812	.875
DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR											
6"	6.625	37.28										
8"	8.625	49.20										
10"	10.750			71.87								
12"	12.750	▲ 73.78	79.70	86.82								
14"	14.000	●▲81.25	87.79	94.55	100.94							
16"	16.000	●▲93.27	100.70	108.49	115.86	123.30						
18"	18.000	▲ 105.10	113.62	●122.43	130.78	139.20	155.87					
20"	20.000	▲ 117.02	126.53	136.37	145.70	●155.12						
24"	24.000	▲ 140.88	152.37	164.26	175.54	186.94	●209.50	232.66	255.24			
30"	30.000	▲ 176.84	191.11	208.09	220.30	234.67	263.12	●292.18	320.93	349.02	376.98	405.54
36"	36.000	▲ 212.59	229.76	247.31	264.94	282.27	316.11	●351.70	388.45	420.42	454.27	488.86
48"	48.000	▲ 284.24	307.30	331.52	354.52	377.79	423.94	471.14	517.92	563.70	609.36	656.06

CÉD. 10 ■ CÉD. 20 + CÉD. 30 ● CÉD. 40 \* STÁNDAR ▲



# **A - 2**

## **COTIZACIÓN DE LOS CONCEPTOS CONSIDERADOS EN LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN**

### **A N E X O 2**

#### **COTIZACIÓN DE LOS CONCEPTOS CONSIDERADOS EN LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN**

##### **A-2.1 CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE LA PRIMERA ALTERNATIVA**

<b>CLAVE</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P.U. [\\$]</b>	<b>IMPORTE [\\$]</b>
1	TRAZO Y NIVELACION PARA LA INSTALACION DE TUBERIA	m	29,575.00	8.50	251,387.50
2	EXCAVACION EN CUALQUIER MATERIAL PARA LA INSTALACION DE TUBERIA Y/O ATRAQUES				
2.1	DE 0.00 m A 2.00 m DE PROFUNDIDAD	m3	52.00	22.16	1,152.32
3	FABRICACION Y COLOCACION DE CONCRETO REQUERIDO EN LA CONFORMACION DE ATRAQUES.				
3.1	DE F'C=200 KG/CM2	m3	51.30	1,583.62	81,239.71
4	SUMINISTRO E INSTALACION DE ABRAZADERAS METALICAS EN ATRAQUES.	Lote	1.00	44,000.00	44,000.00
5	RELLENO CON MATERIAL PRODUCTO DE EXCAVACION EN ATRAQUES.	m3	0.70	53.00	37.10
6	EXCAVACION EN CUALQUIER MATERIAL PARA LA INSTALACION DE TUBERIA				
6.1	DE 0.00 m A 2.00 m DE PROFUNDIDAD	m3	145.00	22.16	3,213.20
7	RELLENO CON MATERIAL DE EXCAVACION DISTRIBUIDO CON MAQUINA EN LA LINEA DE ABASTECIMIENTO.	m3	114.51	53.00	6,069.03
8	FORMACION DE PLANTILLA CON MATERIAL DE BANCO PARA RECIBIR LA TUBERIA DE CONDUCCION. INCLUYENDO EL MATERIAL HASTA EL SITIO DE SU UTILIZACION.	m3	12.52	81.61	1,021.76
9	SUMINISTRO Y COLOCACION EN OBRA DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD DE 20 Pulg DE DIAMETRO CON UN RD DE 7 PARA LA LINEA DE ABASTECIMIENTO. INCLUYE CARGAS Y DESCARGAS NECESARIAS, ALMACENAMIENTO EN OBRA Y PUESTA AL PIE DEL TRAZO.	m	5,310.00	129.34	686,798.06
10	SUMINISTRO Y COLOCACION EN OBRA DE TUBERIA DE ACERO AL CARBON DE 16 Pulg DE DIAMETRO PARA LA LINEA DE ABASTECIMIENTO. INCLUYE CARGAS Y DESCARGAS NECESARIAS, ALMACENAMIENTO EN OBRA Y PUESTA AL PIE DEL TRAZO.	m	20,711.00	4,020.00	83,258,220.00
11	SUMINISTRO Y COLOCACION EN OBRA DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD DE 14 Pulg DE DIAMETRO CON UN RD DE 13.50 PARA LA LINEA DE ABASTECIMIENTO. INCLUYE CARGAS Y DESCARGAS NECESARIAS, ALMACENAMIENTO EN OBRA Y PUESTA AL PIE DEL TRAZO.	m	3,554.00	71.98	255,811.59
12	SUMINISTRO E INSTALACION DE PIEZAS ESPECIALES FABRICADAS DE MATERIAL NECESARIO PARA SU UNION EN CAMBIO DE MATERIAL DE LA LINEA DE ABASTECIMIENTO.	Lote	1.00	30,000.00	30,000.00
13	SUMINISTRO E INSTALACION DE PIEZAS ESPECIALES DE LA LINEA DE ABASTECIMIENTO. (CODOS TEE Etc.)	Lote	1.00	150,000.00	150,000.00
14	LIMPIEZA DEL INTERIOR DE LA TUBERIA DE ACERO AL CARBON Y PIEZAS ESPECIALES PARA LA LINEA DE ABASTECIMINETO.	m2	20,711.00	64.15	1,328,610.65
15	LIMPIEZA DEL INTERIOR DE LA TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD Y PIEZAS ESPECIALES PARA LA LINEA DE ABASTECIMINETO.	m	8,864.00	10.00	88,640.00

16	SUMINISTRO Y COLOCACION DE PINTURA ANTICORROSIVA EN EL INTERIOR DE LA TUBERIA DE ACERO AL CARBON PARA LA LINEA DE CONDUCCION. EN LA SUPERFICIE SE COLOCARA PRIMARIO EPOXICO CATALIZADO DE ALTOS SOLIDOS.	m	20,711.00	134.50	2,785,629.50
17	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULAS DE ADMISION Y EXPULSION DE AIRE	Pza	3.00	880.00	2,640.00
18	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULA DE COMPUERTA PARA DESFOGUE	Pza	3.00	1,450.00	4,350.00
19	CONSTRUCCION DE OBRA DE CAPTACION (SOLO OBRA CIVIL)	Lote	1.00	21,000.00	21,000.00
20	SUMINISTRO E INSTALACION DE REJILLA CON CHAROLA DE ESCURRIMIENTO PARA RETENER SOLIDOS QUE PUEDAN OBSTRUIR O TAPONEAR LA TUBERIA DE CONDUCCION.	Pza.	1.00	700.00	700.00
21	SUMINISTRO Y COLOCACION DE PIEDRA COLOCADA EN LA ZONA DE RETENSION DE SOLIDOS GRANDES QUE PUEDAN INTERFERIR EN LA CAPTACION DEL AGUA HACIA EL SISTEMA DE CONDUCCION DE AGUA.	m3	3.00	150.00	450.00
				TOTAL \$	<b>89,000,970.41</b>
<b>≡ ( OCHENTA Y NUEVE MILLONES NOVECIENTOS SETENTA PESOS 41 / 100 M.N. ) ≡</b>					

## A-2.2 CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE LA SEGUNDA ALTERNATIVA

CLAVE	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. [\$]	IMPORTE [\$]
1	TRAZO Y NIVELACION PARA LA INSTALACION DE TUBERIA	m	33,443.01	8.50	284,265.55
2	EXCAVACION EN CUALQUIER MATERIAL PARA LA INSTALACION DE TUBERIA Y/O ATRAQUES.				
2.1	DE 0.00 m A 2.00 m DE PROFUNDIDAD	m3	52.00	22.16	1,152.32
3	FABRICACION Y COLOCACION DE CONCRETO REQUERIDO EN LA CONFORMACION DE ATRAQUES.				
3.1	DE F'C=200 KG/CM2	m3	51.30	1,583.62	81,239.71
4	SUMINISTRO E INSTALACION DE ABRAZADERAS METALICAS EN ATRAQUES.	Lote	1.00	44,000.00	44,000.00
5	RELLENO CON MATERIAL PRODUCTO DE EXCAVACION EN ATRAQUES.	m3	0.70	53.00	37.10
6	EXCAVACION EN CUALQUIER MATERIAL PARA LA INSTALACION DE TUBERIA				
6.1	DE 0.00 m A 2.00 m DE PROFUNDIDAD	m3	145.00	22.16	3,213.20

7	RELLENO CON MATERIAL DE EXCAVACION DISTRIBUIDO CON MAQUINA EN LA LINEA DE ABASTECIMIENTO.	m3	114.51	53.00	6,069.03
8	FORMACION DE PLANTILLA CON MATERIAL DE BANCO PARA RECIBIR LA TUBERIA DE CONDUCCION. INCLUYENDO EL MATERIAL HASTA EL SITIO DE SU UTILIZACION.	m3	12.52	81.61	1,021.76
9	SUMINISTRO Y COLOCACION EN OBRA DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD DE 12 Pulg DE DIAMETRO CON UN RD DE 13.50 PARA LA LINEA DE ABASTECIMIENTO. INCLUYE CARGAS Y DESCARGAS NECESARIAS, ALMACENAMIENTO EN OBRA Y PUESTA AL PIE DEL TRAZO.	m	5,305.69	870.00	4,615,950.30
10	SUMINISTRO Y COLOCACION EN OBRA DE TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD DE 16 Pulg DE DIAMETRO CON UN RD DE 13.50 PARA LA LINEA DE ABASTECIMIENTO. INCLUYE CARGAS Y DESCARGAS NECESARIAS, ALMACENAMIENTO EN OBRA Y PUESTA AL PIE DEL TRAZO.	m	16,545.39	1,370.00	22,667,184.30
11	SUMINISTRO Y COLOCACION EN OBRA DE TUBERIA DE ACERO AL CARBON DE 12 Pulg DE DIAMETRO PARA LA LINEA DE ABASTECIMIENTO. INCLUYE CARGAS Y DESCARGAS NECESARIAS, ALMACENAMIENTO EN OBRA Y PUESTA AL PIE DEL TRAZO.	m	1,955.29	1,500.00	2,932,935.00
12	SUMINISTRO Y COLOCACION EN OBRA DE TUBERIA DE ACERO AL CARBON DE 16 Pulg DE DIAMETRO PARA LA LINEA DE ABASTECIMIENTO. INCLUYE CARGAS Y DESCARGAS NECESARIAS, ALMACENAMIENTO EN OBRA Y PUESTA AL PIE DEL TRAZO.	m	9,250.41	4,020.00	37,186,648.20
13	SUMINISTRO E INSTALACION DE PIEZAS ESPECIALES FABRICADAS DE MATERIAL NECESARIO PARA SU UNION EN CAMBIO DE MATERIAL DE LA LINEA DE ABASTECIMIENTO.	Lote	1.00	30,000.00	30,000.00
14	SUMINISTRO E INSTALACION DE PIEZAS ESPECIALES DE LA LINEA DE ABASTECIMIENTO. (CODOS TEE Etc.)	Lote	1.00	150,000.00	150,000.00

15	LIMPIEZA DEL INTERIOR DE LA TUBERIA DE ACERO AL CARBON Y PIEZAS ESPECIALES PARA LA LINEA DE ABASTECIMINETO.	m2	1,555.00	64.15	99,753.25
16	LIMPIEZA DEL INTERIOR DE LA TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD Y PIEZAS ESPECIALES PARA LA LINEA DE ABASTECIMINETO.	m	21,000.00	10.00	210,000.00
17	SUMINISTRO Y COLOCACION DE PINTURA ANTICORROSIVA EN EL INTERIOR DE LA TUBERIA DE ACERO AL CARBON PARA LA LINEA DE CONDUCCION. EN LA SUPERFICIE SE COLOCARA PRIMARIO EPOXICO CATALIZADO DE ALTOS SOLIDOS.	m	11,205.70	134.50	1,507,166.65
18	SUMINISTRO Y COLOCACION DE PINTURA ANTICORROSIVA EN EL EXTERIOR DE LA TUBERIA DE ACERO AL CARBON PARA LA LINEA DE CONDUCCION. EN LA SUPERFICIE SE COLOCARA BASE DE PRIMARIO ALQUITRAN DE HUELLA Y ESMALTE APLICADO.	m2	11,205.70	231.80	2,597,481.26
19	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULAS DE ADMISION Y EXPULSION DE AIRE	Pza	3.00	880.00	2,640.00
20	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULA DE COMPUERTA PARA DESFOGUE	Pza	3.00	1,450.00	4,350.00
21	CONSTRUCCION DE OBRA DE CAPTACION (SOLO OBRA CIVIL)	Lote	1.00	21,000.00	21,000.00
22	SUMINISTRO E INSTALACION DE REJILLA CON CHAROLA DE ESCURRIMIENTO PARA RETENER SOLIDOS QUE PUEDAN OBSTRUIR O TAPONEAR LA TUBERIA DE CONDUCCION.	Pza.	1.00	700.00	700.00
23	SUMINISTRO Y COLOCACION DE PIEDRA COLOCADA EN LA ZONA DE RETENSION DE SOLIDOS GRANDES QUE PUEDAN INTERFERIR EN LA CAPTACION DEL AGUA HACIA EL SISTEMA DE CONDUCCION DE AGUA.	m3	3.00	150.00	450.00
				<b>TOTAL \$ 72,447,257.62</b>	
<b>≡ ( SETENTA Y DOS MILLONES CUATROCIENTOS CUARENTA Y TRES MIL NOVECIENTOS SETENTA Y CUATRO PESOS <sup>62</sup> / <sub>100</sub> M.N. ) ≡</b>					

Nota: los precios tanto de las tuberías anteriormente expuestas, como de los accesorios y los demás conceptos son datos del proyecto recopilados y proporcionados por los fabricantes a la fecha de febrero del 2007.

**A - 3**

**RESULTADOS OBTENIDOS EN EL  
PROGRAMA EPANET**

## A N E X O 3

### RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROGRAMA EPANET

#### A-3.1 INFORME DE LA LÍNEA EN LA PRIMERA ALTERNATIVA

*Tabla de Red – Nudos*

ID Nudo	Cota m	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Embalse 1	1100	-150.00	1100.00	0.00
Conexión 2	1082.56	0.00	1099.16	16.60
Conexión 3	1088.31	0.00	1099.01	10.70
Conexión 4	1084.65	0.00	1098.90	14.25
Conexión 5	1090.59	0.00	1098.74	8.15
Conexión 6	1081.88	0.00	1098.38	16.50
Conexión 7	1093.23	0.00	1098.18	4.95
Conexión 8	1081.19	0.00	1098.10	16.91
Conexión 9	1095.82	0.00	1097.72	1.90
Conexión 10	1082.88	0.00	1097.47	14.59
Conexión 11	1096.85	0.00	1096.85	0.00
Conexión 12	1083.72	0.00	1096.70	12.98
Conexión 13	1091.78	0.00	1096.22	4.44
Conexión 14	1083.51	0.00	1095.06	11.55
Conexión 15	1093.08	0.00	1094.27	1.19
Conexión 16	1081.96	0.00	1094.07	12.11
Conexión 17	1081.12	0.00	1093.62	12.50
Conexión 18	1079.68	0.00	1093.30	13.62
Conexión 19	1088.71	0.00	1090.51	1.80
Conexión 20	1068.33	0.00	1090.25	21.92
Conexión 21	1078.55	0.00	1089.49	10.94
Conexión 22	1063.08	0.00	1089.00	25.92
Conexión 23	1077.88	0.00	1087.46	9.58
Conexión 24	1041.50	0.00	1086.53	45.03
Conexión 25	1057.07	0.00	1086.02	28.95
Conexión 26	1059.12	0.00	1080.89	21.77
Conexión 27	962.76	0.00	1079.81	117.05
Conexión 28	887.92	0.00	1078.78	190.86
Conexión 29	785.73	0.00	1077.44	291.71
Conexión 30	760.75	0.00	1075.76	315.01
Conexión 31	687.96	0.00	1075.12	387.16
Conexión 32	660	0.00	1074.55	414.55
Conexión 33	644.77	0.00	1073.40	428.63
Conexión 34	654.95	0.00	1071.86	416.91
Conexión 35	645.5	0.00	1069.96	424.46
Conexión 36	657.37	0.00	1068.26	410.89
Conexión 37	644.07	0.00	1066.10	422.03



Conexión 38	643.82	0.00	1065.12	421.30
Conexión 39	653.71	0.00	1064.44	410.73
Conexión 40	646.94	0.00	1063.26	416.32
Conexión 41	652.98	0.00	1061.98	409.00
Conexión 42	649.14	0.00	1060.99	411.86
Conexión 43	654.1	0.00	1060.72	406.62
Conexión 44	642.46	0.00	1059.83	417.37
Conexión 45	657.07	0.00	1057.52	400.45
Conexión 46	644.66	0.00	1056.66	412.00
Conexión 47	674.68	0.00	1054.24	379.56
Conexión 48	663.58	0.00	1053.67	390.09
Conexión 49	677.16	0.00	1053.38	376.22
Conexión 50	660	0.00	1052.39	392.39
Conexión 51	676.83	0.00	1052.07	375.24
Conexión 52	666.67	0.00	1050.57	383.90
Conexión 53	689.44	0.00	1049.47	360.03
Conexión 54	706.22	0.00	1047.42	341.20
Conexión 55	782.31	0.00	1045.62	263.31
Conexión 56	762.67	0.00	1043.94	281.27
Conexión 57	721.41	0.00	1042.60	321.19
Conexión 58	738.04	0.00	1041.42	303.38
Conexión 59	769.84	0.00	1040.23	270.39
Conexión 60	776.28	0.00	1038.73	262.45
Conexión 61	722.07	0.00	1038.14	316.07
Conexión 62	756.81	0.00	1036.62	279.81
Conexión 63	740.67	0.00	1035.96	295.29
Conexión 64	795.53	0.00	1035.22	239.69
Conexión 65	788.86	0.00	1032.80	243.94
Conexión 66	874.76	0.00	1031.23	156.47
Conexión 67	940	0.00	1029.29	89.29
Conexión 68	980	0.00	1023.86	43.86
Conexión 69	956.35	0.00	1018.46	62.11
Conexión 70	920	0.00	1012.08	92.08
Conexión 71	930.36	0.00	1002.75	72.39
Conexión 72	924.71	0.00	1001.14	76.43
Conexión 73	987.71	0.00	998.81	11.10
Conexión 74	942.26	0.00	997.06	54.80
Conexión 75	958.85	0.00	996.19	37.34
Conexión 76	942.52	0.00	995.62	53.10
Conexión 77	954.41	150.00	995.36	11.95

*Tabla de Red – Líneas*

Velocidad	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	
ID Línea	m	mm	mm	LPS	m/s
Tubería 1	332.18	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 2	57.01	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 3	45.62	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 4	62.64	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 5	140.88	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 6	79.46	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 7	31.47	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 8	149.59	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 9	99.8	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 10	243.27	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 11	59.78	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 12	188.45	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 13	457.37	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 14	311.99	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 15	77.51	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 16	176.56	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 17	125.69	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 18	1100.81	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 19	100.92	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 20	300.34	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 21	193.15	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 22	607.72	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 23	368.13	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 24	198.11	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 25	2021.34	411.0482	0.007	150.00	1.13
Tubería 26	314.21	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 27	300.09	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 28	388.56	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 29	488.12	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 30	187.05	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 31	165.79	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 32	334.45	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 33	445.87	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 34	552.19	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 35	494.35	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 36	630.08	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 37	284.28	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 38	196.28	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 39	342.98	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 40	372.67	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 41	286.22	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 42	80.26	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 43	258.06	387	0.050	150.00	1.28

Tubería 44	670.26	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 45	250.99	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 46	702.28	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 47	167.3	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 48	84.35	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 49	287.06	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 50	91.85	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 51	438.06	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 52	320.06	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 53	594.83	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 54	521.68	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 55	490.98	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 56	388.58	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 57	341.41	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 58	346.79	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 59	434.99	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 60	171.12	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 61	444.38	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 62	190.56	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 63	216.04	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 64	701.72	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 65	457.72	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 66	563.77	387	0.050	150.00	1.28
Tubería 67	680.47	327.9648	0.007	150.00	1.78
Tubería 68	678.25	327.9648	0.007	150.00	1.78
Tubería 69	800.4	327.9648	0.007	150.00	1.78
Tubería 70	1171.1	327.9648	0.007	150.00	1.78
Tubería 71	201.71	327.9648	0.007	150.00	1.78
Tubería 72	293.05	327.9648	0.007	150.00	1.78
Tubería 73	218.89	327.9648	0.007	150.00	1.78
Tubería 74	108.8	327.9648	0.007	150.00	1.78
Tubería 75	72.37	327.9648	0.007	150.00	1.78
Tubería 76	32.48	327.9648	0.007	150.00	1.78

### A-3.2 INFORME DE LA LÍNEA EN LA SEGUNDA ALTERNATIVA

*Tabla de Red – Nudos*

ID Nudo	Cota m	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Embalse 1	1123	-150.00	1123.00	0.00
Conexión 2	1088.0893	0.00	1121.01	32.92
Conexión 3	1093.5572	0.00	1118.82	25.26
Conexión 4	1076.9131	0.00	1115.97	39.05
Conexión 5	1050.6168	0.00	1113.40	62.79
Conexión 6	1043.1507	0.00	1108.94	65.79

Conexión 7	1028.8901	0.00	1104.84	75.95
Conexión 8	1009.5425	0.00	1099.94	90.40
Conexión 9	989.9066	0.00	1095.11	105.20
Conexión 11	954.6848	0.00	1079.33	124.64
Conexión 10	968.9882	0.00	1088.65	119.67
Conexión 12	928.4214	0.00	1063.66	135.24
Conexión 13	908.8410	0.00	1059.38	150.54
Conexión 14	868.9571	0.00	1057.29	188.33
Conexión 15	852.0833	0.00	1050.73	198.65
Conexión 16	829.3233	0.00	1047.04	217.72
Conexión 17	791.1938	0.00	1046.09	254.89
Conexión 18	746.6512	0.00	1042.31	295.65
Conexión 19	709.6329	0.00	1038.50	328.87
Conexión 20	695.9477	0.00	1029.81	333.87
Conexión 21	717.2580	0.00	1026.16	308.90
Conexión 22	771.5785	0.00	1020.96	249.38
Conexión 23	804.2495	0.00	1018.46	214.21
Conexión 24	831.5782	0.00	1016.76	185.18
Conexión 25	896.2347	0.00	1015.14	118.90
Conexión 26	937.6010	0.00	1014.04	76.44
Conexión 27	970.8770	0.00	1005.60	34.72
Conexión 28	911.5463	0.00	988.39	76.84
Conexión 29	953.1716	0.00	964.58	11.41
Conexión 30	947	150.00	951.41	4.41

*Tabla de Red – Líneas*

ID Línea	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	
	m	mm	mm	LPS	m/s
Tubería 1	1087.9445	438.531	0.007	150.00	0.99
Tubería 2	1194.0964	438.531	0.007	150.00	0.99
Tubería 3	1558.5176	438.531	0.007	150.00	0.99
Tubería 4	1399.8457	438.531	0.007	150.00	0.99
Tubería 5	2437.3128	438.531	0.007	150.00	0.99
Tubería 6	832.21846	360.4514	0.007	150.00	1.47
Tubería 7	992.60967	360.4514	0.007	150.00	1.47
Tubería 8	979.74502	360.4514	0.007	150.00	1.47
Tubería 9	1308.9715	360.4514	0.007	150.00	1.47
Tubería 10	1891.1697	360.4514	0.007	150.00	1.47
Tubería 11	3175.9967	360.4514	0.007	150.00	1.47
Tubería 12	868.69096	360.4514	0.007	150.00	1.47
Tubería 13	689.64210	396.8	0.050	150.00	1.21
Tubería 14	2161.9087	396.8	0.050	150.00	1.21
Tubería 15	1216.9562	396.8	0.050	150.00	1.21
Tubería 16	315.05360	396.8	0.050	150.00	1.21

Tubería 17	614.1786	345	0.050	150.00	1.60
Tubería 18	617.85274	345	0.050	150.00	1.60
Tubería 19	1410.0180	345	0.050	150.00	1.60
Tubería 20	592.90323	345	0.050	150.00	1.60
Tubería 21	844.46283	345	0.050	150.00	1.60
Tubería 22	824.16939	396.8	0.050	150.00	1.21
Tubería 23	561.06714	396.8	0.050	150.00	1.21
Tubería 24	534.20174	396.8	0.050	150.00	1.21
Tubería 25	362.40044	396.8	0.050	150.00	1.21
Tubería 26	669.86303	299.7708	0.007	150.00	2.13
Tubería 27	1366.1913	299.7708	0.007	150.00	2.13
Tubería 28	1889.5900	299.7708	0.007	150.00	2.13
Tubería 29	1045.4270	299.7708	0.007	150.00	2.13

**A - 4**

**ARCHIVO FOTOGRAFICO**



**ANEXO 4**  
**ARCHIVO FOTOGRAFICO**



Foto 1. Vegetación en la zona circundante al manantial



Foto 2. Confluencia de un afluente en el manantial "La Caña"





Foto 3. Localización mediante un GPS de las coordenadas y elevación del manantial



Foto 4. Medición indirecta del caudal en el sitio del manantial

**A - 5**

**PLANOS**

