



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ARAGÓN

**“REHABILITACIÓN DE LA LINEA DE CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE
UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TAXCO DE ALARCÓN”**

DESARROLLO DE UN CASO

PRÁCTICO

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

LUIS ALBERTO BALDERAS SERRANO

ASESOR: M. EN I. MARIO SOSA RODRÍGUEZ

MÉXICO, 2014



FES Aragón



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

He escuchado también, en varios pasajes de mi todavía corta vida, que como hijo no hay mejor herencia que pueda uno recibir de sus padres que la Educación.

Hoy, cuando estoy a punto de terminar con la fase final de una etapa de mi vida estudiantil, es momento de agradecer a quienes han hecho posible que esté en la antesala de ser Ingeniero Civil titulado.

En primer lugar y de manera muy especial a mis amados padres: Georgina Serrano Rodríguez, mi mamá, y Luis Balderas Gómez, QEPD, mi papá. A ustedes dos, todo mi agradecimiento por su amor desmedido y por su apoyo económico para que yo pudiera cursar mis estudios y llegar a donde ustedes y yo anhelábamos.

Hoy, todo su sentimiento amoroso y todo su sacrificio económico para que, en la medida de nuestras posibilidades, nada me hiciera falta, está a punto de cristalizar.

A mi padre, quien seguramente con la venía de Dios me acompaña en estos momentos tan importantes de mi vida, le doy las gracias por todo su cariño y por el impulso que siempre me dio para prepararme profesionalmente.

A mi madre, mi agradecimiento por el ejemplo de responsabilidad, tenacidad y compromiso que me ha dado; con mi amor le correspondo a sus desvelos, a sus preocupaciones y a sus bendiciones para que yo siempre estuviera bien.

A mí querida hermana Ady, gracias por su afecto, por su solidaridad, por su compañía.

A la prestigiada Universidad Nacional Autónoma de México, mi agradecimiento permanente por haberme permitido prepararme en sus aulas, por haberme permitido recibir las enseñanzas de su inigualable plantilla de acreditados catedráticos y, fundamentalmente, por haberme formado profesionalmente con tanta calidad educativa.

A la Facultad de Estudios Superiores Aragón, que vivirá siempre en mi corazón y en mis recuerdos, mi indeleble gratitud por todo lo que en sus instalaciones viví durante cuatro y medio años.

A mi amigo leal, Israel Fuentes Serrano, quien me procuró no nada más en las buenas, sino en las malas, y que me ha acompañado en los momentos adversos que es cuando cuentan los amigos.

Hoy me conozco más que ayer, hoy me acepto más que ayer, hoy añadiré más conocimientos para ser un poco mejor mañana.

Índice

Introducción

Objetivos

Utilidad

Breve descripción del capitulado del trabajo de titulación

Capítulo 1: Generalidades

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Datos geográficos
- 1.3 Ubicación del proyecto

Capítulo 2: Aspectos fundaméntales en el diseño de conductos a presión

- 2.1 Definiciones
 - 2.2 Ecuación de continuidad
 - 2.3 Ecuación de la energía
 - 2.4 Efectos de viscosidad
 - 2.5 Perdidas de energía por fricción en la conducción
 - 2.6 Perdidas locales
 - 2.7 Consideraciones de proyecto
 - 2.7.1 Topografía
 - 2.7.2 Afectaciones
 - 2.7.3 Clase de terreno a excavar
 - 2.7.4 Población de proyecto
 - 2.7.5 Periodo de diseño
 - 2.7.6 Vida útil
 - 2.7.7 Consumo
 - 2.8 Perdidas físicas
 - 2.9 Dotación
 - 2.10 Coeficiente de variación
 - 2.11. Gastos de diseño
 - 2.12. Gasto máximo diario y horario
 - 2.13. Velocidades máximas y mínimas.
 - 2.14. Válvulas, uso y ubicación
-

- 2.15. Llenado y vaciado programado de la conducción
 - 2.15.1 Llenado programado
 - 2.15.2 Vaciado programado
- 2.16 Líneas de conducción por gravedad
- 2.17. Criterios de resistencia
- 2.18 Tipos de materiales para líneas de conducción.
 - 2.18.1 Tuberías de PVC
 - 2.18.2 Tuberías de polietileno
 - 2.18.3 Tuberías de fibrocemento
 - 2.18.4 Tuberías de hierro fundido
 - 2.18.5 Tuberías de concreto
 - 2.18.6 Tuberías de acero

Capítulo 3: Desarrollo del caso práctico: Diseño de la línea de conducción para agua potable

- 3.1 Datos de proyecto
- 3.2 Antecedentes del proyecto
- 3.3 Cálculos
 - 3.3.1 Determinación del gasto medio diario
 - 3.3.2 Determinación del gasto máximo diario y del gasto máximo horario
 - 3.3.4 Determinación del Número de Reynolds
 - 3.3.5 Determinación del coeficiente f
 - 3.3.6 Determinación de las pérdidas por fricción en la línea de conducción por tramo
 - 3.3.7 Determinación del gradiente de presión.
 - 3.3.8 Selección del espesor de la tubería
 - 3.3.9 Determinación de las válvulas de admisión y expulsión de aire y de desagüe
 - 3.3.10 Cálculo del costo de la línea de conducción

Anexos A: Cálculos para línea de conducción de 10" (254mm)

Anexo B: Cálculos para la línea de conducción con 12" y 10" (304 y 254mm)

Anexo C: Comparación de la línea de conducción de agua mediante EPANET

Conclusiones

Bibliografía

Introducción

El agua es el elemento más importante para la vida en la Tierra. El 70 por ciento del planeta está formado por agua. A su vez, el ser humano y la mayoría de animales están constituidos por un 70 por ciento de agua, y las propias células de nuestro interior, en un 70 por ciento están compuestas por agua. Este dato ya nos está poniendo en antecedentes sobre la importancia biológica que tiene el agua para la vida y para los seres vivos que habitamos la Tierra.

Resulta importante conservar el agua aunque a primera vista parezca que el agua es la única cosa que sobra en este planeta, pues $\frac{3}{4}$ partes de la superficie son de agua, pero hay que decir, que es agua salada, que no sirve para el consumo humano, ni industrial ni agrícola. Se trata por tanto del agua dulce la proporción de agua que más interés tiene económicamente hablando, ya que influye directamente en temas tan controvertidos como la desertización de zonas habitables o por ejemplo los regadíos de cultivos que posteriormente competirán en un mercado internacional.

De acuerdo a información recabada por la UNAM y Harp Helú las pérdidas por fugas equivalen al 50% de pérdida del volumen total, la falta de planos de las redes y de documentación de la situación financiera de los sistemas, ausencia de tarifas adecuadas, recaudación escasa y una dotación promedio de 20 a 50 litros diarios por habitante cantidad por debajo de sus necesidades mínimas. Que en su mayoría, reciben el servicio dos días a la semana, durante un promedio de 5 horas. Las familias erogán un monto de 15 veces superior a la tarifa mensual de abastecimiento en la compra de botellas y pipas lo que afecta principalmente a los hogares de menores ingresos.

Los profesionistas y organizaciones relacionados con la conducción de agua deberán tener en cuenta que los criterios y requerimientos pueden variar y ser ajustados a las necesidades de cada proyecto individual. Los requisitos para cada conducción estarán en función de las condiciones y de la ubicación del proyecto,

para poder dar una solución tanto funcional como económica. Ya que para poder cumplir con esto el profesionalista u organizaciones deben contar con la información teórica y los lineamientos fijados por reglamentos existentes.

Las conducciones de agua son de vital importancia para la vida cotidiana en cualquier centro poblacional sin importar el tamaño de su población, ya que las conducciones solo forman una parte del sistema integral para el abastecimiento de agua a las poblaciones.

Toda decisión tomada para el correcto funcionamiento de las conducciones debe estar basada en fundamentos teóricos que nos orienten a elegir qué rumbo es el mejor.

Objetivo

Presentar el proceso de rehabilitación de una línea de conducción a todas aquellas personas que desean tomar parte en un proyecto de conducción de agua cuente con los conocimientos suficientes para garantizar un funcionamiento óptimo a pesar de cualquier condición y ubicación del mismo.

Utilidad

Que el presente trabajo sirva de material de consulta para toda persona y generaciones nuevas que conlleven a la búsqueda y desarrollo en el área de la hidráulica, considerando esta área una herramienta primordial en la ingeniería.

Breve descripción del capitulado del trabajo de titulación

En el capítulo 1 de aborda la historia y datos del municipio, en la cual se da a conocer la importancia que tuvo el agua para el desarrollo de las actividades en la época de la colonia y del porque su actual ubicación requiere este tipo de trabajos.

De esta manera en el Capítulo 2 se presenta la información teórica necesaria para el adecuado funcionamiento de las conducciones además de los lineamiento existente en los reglamento para este tipo de proyectos.

En el capítulo 3 se exponen los cálculos necesarios para desarrollar el proyecto de una conducción en un terreno inusual con condiciones adversas a la disponibilidad de carga y para el caso de una contingencia la línea pueda seguir en función.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones más importantes a las que se llegan en el presente trabajo de titulación.

Capítulo 1: Generalidades

1.1 Antecedentes

Las minas de Taxco fueron descubiertas por el propio conquistador Hernán Cortes que envió españoles con herramientas para trabajarlas. Nos consta que él personalmente haya estado en Taxco. En su cuarta relación escribe a Carlos V, dándole cuenta de sus hazañas, y dice que habiendo encontrado cobre le hacía falta estaño para poder obtener bronce para cañones: “comencé a inquirir en todas partes si en alguna lo había y quiso nuestro señor, que tiene cuidado, y siempre lo ha tenido, de proveer priesa, que tope entre los naturales de una provincia que se dice Tachco, cierta piecezuelas de ello, a manera de monedas muy delgadas, y procediendo de mi pesquisa, halle que en la provincia, aun en otras, se trataba por monedas; llevándolo más al cabo, supe que se sacaba de dicha provincia de Tachco que esta veintiséis leguas de esta ciudad, y luego supe las minas y envié herramientas y españoles y trayéndome muestra de ello, y de allí en adelante di orden como sacaron todo lo que fuera necesario, y se sacara lo que más hubiese necesitado, aunque con bastante trabajo; y aun andando en busca de estos metales, se topó vena de hierro en mucha cantidad, según me informaron los que le conocen”.

Como se ve, el conquistador no habla de plata ni oro, sino solamente de estaño y hierro, pero no es imposible que más tarde se hayan encontrado vetas de plata pues consta que siguió trabajando las minas de Taxco: en 1539 hizo escritura de donación inter-vivos a favor de sus hijos don Martin cortes, legitimo, don Martin y don Luis, naturales, de “cien esclavos machos y hembras indios naturales de esta tierra, herrados con el hierro del rey, con sus bateas, herramientas, fuelles que yo tengo en las minas de Taxco, los cuales compre de Antonio Alvarez de Madrid, que fueron de Diego de San Martin”.

“además, sigue diciendo, les doy en dotación todos los abastimientos y ropas que fueran necesarios para dichos esclavos todo el tiempo que (en las dichas minas anduvieran)”.

“Además les doy y hago donación que los dichos esclavos puedan labrar y sacar metal para ustedes los susodichos en todas las minas que yo tengo en toda esta nueva España todo el tiempo y hasta tanto que los dichos esclavos tomen y hallen minas de que sacar metal”. Por la tasación de las rentas del marquesado del valle en 1573 conocemos como eran y donde estaban las minas que cortes dejó a sus herederos: “El marqués del valle tiene en las minas de Taxco un asiento de minas de plata en el barrio que dicen de cantarranas con sus casas e iglesias y tres ingenios, uno de agua de moler metal con ocho mazos moliente y corriente, otro de labrar metal con sus tinas y molientes, otro de reparar metales con su rueda y lo demás necesario a él y trece piezas de esclavos negros machos y hembras y once mulas con sus aparejos y costales que tiene en administración Pedro de Medenilla, mayordomo que fue de ellas por el dicho marques con doscientos pesos de minas de salario...”.

Parece que en estos tiempos no se fundó población importante de españoles, pues que los franciscanos del convento de Cuernavaca, apenas fundado este en 1529, evangelizaron la zona sur y pasaron por Taxco el viejo. Si hubiera habido núcleo importante de población habrían intentado fundar convento, o cuando menos una visita del suyo.

Según la “Relación de las minas de Taxco”, antes citadas, conquistaron y pacificaron la región los capitanes Rodrigo de Castañeda, en 1531 poco más o menos después de Miguel Díaz de Aux; las primeras minas de plata se descubrieron en 1534 y fueron los primeros pobladores Juan de Cabra y Juan de Salcedo, conquistadores, y un fulano Muriel. Poco a poco se fue poblando de gambusinos codiciosos de metales “hasta haber mucha gente, trato y comercio en ella”. A esta primera bonanza suceden tiempos malos y las minas comienzan a despoblarse.

Veamos ahora como estaba formada la que podríamos llamar provincia de Taxco. La antigua capital, Taxco el viejo, ha perdido importancia porque las minas quedan lejos, aunque siga cobrando tributo a aquellas estancias que caen en su territorio. Los campamentos o reales de minas son los centros importantes de población, que se van transformando en pueblos más o menos habitantes según la bonanza o pobreza de las minas. El real de minas de Taxco está formado en 1570 de tres reales de minas: Tetelcingo, cantarranas y Tenango y de seis cabeceras Taxco el viejo, Hueztaca, Atzala, Tenango, Acamixtlahuaca y Tlamacazapan. Tenango además de ser real de minas es cabecera. Las cabeceras eran poblaciones de indios, los reales era donde vivían los mineros y los españoles. El real de mayor importancia era Tetelcingo en el cual residía el alcalde mayor; allí estaba la parroquia cuya advocación era la de la concepción. Había, además, dos ermitas, la de la Veracruz, con su cofradía y la de san Sebastián, a treientos pasos de la iglesia mayor cada una. En las cuadrillas de los mineros había siete ermitas más.

Fue, indudablemente, este real de Tetelcingo el que se transformó, al ir creciendo su población en lo que es Taxco el nuevo. Sus señas corresponden exactamente a las del pueblo, y la relación de 1581 da más detalles. Además, ninguno de los pueblos existentes lleva el nombre de Tetelcingo.

Es natural que así haya pasado por las siguientes razones: como era el sitio de clima más benigno, se escogió para asiento de las autoridades civiles y eclesiásticas, y esto hizo que aumentara la población más de la de los otros dos reales; además, las minas que mas tesoros dieron se hallaban en sus cercanías, lo cual contribuyo a su prosperidad.

En 1581 vemos a Taxco con su jurisdicción definitiva: los tres reales de minas: Tetelcingo, Tenango y cantarranas, diez cabeceras: Taxco el viejo, Tlamacazapa, Atzala, Nochtepec, Pilcayan, Teticpac, Coatlan, Acuitlapan, Acamixtlahuaca y Teulistaca; se contaban además Hueztaca y Tenango que también eran cabeceras.

Durante los tres siglos de la dominación española, Taxco sigue la vida reposada y tranquila de las demás poblaciones del virreinato. Los altibajos de bonanza y pobreza en sus minas, las pestes que seguían a las escaseces, eran lo único que conmovía a fondo su inquietud. Y Taxco, por su parte, causaba la ruina de infinidad de pueblos que se veían obligados a mandar gente a trabajar en las minas, como todos los pueblos se quejaban del servicio que a los naturales se les exigía en Taxco. Lo mismo acontecía por el lado norte, y así hasta Cuernavaca iban los pobre indios obligados por las autoridades. Este abuso subsistió durante toda la época colonial, y todavía en tiempos de los de la borda hay documentos que se refieren a este hecho vituperable.

Ya entrada la época de la colonia la distribución de las principales haciendas con actividad minera se encontraban cercas de cuerpos de agua corriente para facilitar los procesos de separación en la minería de aquellas épocas, mas sin embargo algunas no contaban con la fortuna de encontrarse en esas condiciones por lo que requerían un medio para trasladar el líquido de las fuentes cercanas más elevadas a donde el terreno fuera permisible a ser habitable de lo cual nace la necesidad de hacer la conducción de agua en estos primeros pasos de la conducción en el municipio fueron a través de acueductos que trasladaban el líquido a superficie libre. De los cuales hoy solo sobreviven las estructuras más ya no son utilizadas para su fin original.

1.2 Datos geográficos

El municipio pertenece a la región Norte; se localiza al norte de Chilpancingo, entre las coordenadas 18°21' 28" y 18° 39' 11" de latitud norte, y los 99° 24' 55" y 99°46' 09" de longitud oeste. Tiene una extensión territorial de 575 km², lo que representa 0.91% del total estatal. Sus colindancias son las siguientes: al norte con Tetipac, Pilcaya y el estado de Morelos; al sur con Iguala de la Independencia y Teloloapan, al este con el estado de Morelos y Buenavista de Cuéllar, y al oeste con Ixcateopan de Cuauhtémoc y Pedro Ascencio Alquisiras. Su cabecera municipal, del mismo nombre, se encuentra a 139 km de la capital del estado y tiene una altitud de 1778 msnm.

Suelo: Existen los de tipo chernozem o negro, que se forman en climas fríos bajo el influjo de la vegetación de transición bosque– pradera; café rojizo, formado en climas que van de cálidos a templados, tropicales y semiáridos; se localizan donde hay hierbas bajas y vegetación de arbusto. Todos son aptos para la agricultura.

Orografía: Está dominado por las elevaciones de origen volcánico que se conocen como la Sierra de Taxco. En general, puede afirmarse que en el municipio hay tres tipos de relieve: zonas accidentadas, que abarcan el 75% de la superficie; zonas semiplanas, que comprenden el 20%; y zonas planas, que abarcan el 5%. En zonas accidentadas las elevaciones varían entre los 1500 y 2720 msnm; en las semiplanas, entre 900 y 1499 msnm.

Hidrografía: El mapa hidrológico del municipio de Taxco permite identificar varias corrientes de agua. Se trata de arroyos y ríos poco caudalosos, que arrastran lluvias de temporal; se mencionan los siguientes: Taxco, Icatepec, San Juan, Temixco, Plan de Campos, Las Bocas, Granadas, El Limón, Almolonga y La Gotera. Los diversos escurrimientos forman parte en su mayoría, de dos subcuencas: la del alto Amacuzac y la del río Cocula. Además, en el área municipal hay pequeñas presas, como la de San Marcos y la de Cacalotenango; manantiales de aguas termales, como el de Azulaque, que alcanza temperaturas superiores a los 30 °C y cascadas, como las que forma el arroyo las Granadas (que nace de una gruta cercana al poblado de Acuitlapán).

1.3 Ubicación del proyecto

La línea de conducción recorre un longitud de cerca de 3200m a través de montañas desde la captación ubicada en el manantial conocido como aguas escondida se encuentra a 7.4km de distancia de la cabecera municipal en las coordenadas 18°34'46.85"N, 99°38'53.08"O y el embalse conocido como presa san marcos 1 a 0.66km de la misma en las coordenadas 18°34'3.27"N, 99°37'15.33"O, como se muestra en la imagen 1.3.1



Imagen 1.3.1 ubicación de la línea de conducción

Un aspecto que pocos tomarían en cuenta es la zonificación de la Comisión Federal de Electricidad mostrada en la siguiente imagen.



Figura 1.3.2 Mapa de zonificación de la Comisión Federal de Electricidad

2: Aspectos fundamentales en el diseño de conductos a presión

2.1. Definiciones

Línea de conducción._ dentro de un sistema de abastecimiento de agua potable, se le llama línea de conducción, al conjunto de integrado por tuberías, estaciones de bombeo y dispositivos de control, que permiten el transporte del agua desde una sola fuente de abastecimiento, hasta un solo sitio donde será distribuida en condiciones adecuadas de calidad, cantidad y presión.

Conducto a presión._ conducto cerrado que lleva el agua a una presión mayor que la atmosférica, generada por carga hidráulica o de bombeo.

Presión._ Cociente de la fuerza aplicada a una superficie entre el área de ella.

Tubería._ Conducto fabricado de diferentes materiales, generalmente de sección circular; puede trabajar a presión o como.

Tren de piezas especiales._ es el conjunto formado por válvulas, carretes, tee's y demás accesorios, ubicados según el diseño de la conducción. Este conjunto permite conectar adecuadamente los equipos de bombeo con la tubería, ofreciendo a los mismos control y protección.

Válvulas._ son dispositivos que permiten el control del flujo en la conducción, atendiendo a situaciones de corte y control de flujo, acumulación de aire, por llenado y vaciado de la conducción, depresiones y sobrepresiones generadas por fenómenos transitorios y retrocesos del agua por paro del equipo de bombeo, entre otras.

Caja rompedora de presión._ estructura contenedora, utilizada en sistemas por gravedad para comunicar a la conducción con la atmosfera, disminuyendo así las cargas piezométricas ejercidas sobre la tubería.

Dispositivos de control de transitorios._ estructuras diseñadas para controlar depresiones, sobrepresiones, burbujas de aire y demás perturbaciones en la conducción, ocasionadas por fenómenos transitorios.

Carga hidráulica disponible._ es la energía en metros de columnas de agua que poseen los sistemas, al encontrarse la fuente de abastecimiento a un nivel superior respecto de un sitio sobre el trazo de la conducción en dirección al área de distribución.

Sobrepresión y Depresión._ son las cargas de presión en exceso y por debajo de la presión a flujo estacionario respectivamente, que existen después de presentarse los fenómenos transitorios.

Una conducción por gravedad se presenta cuando la elevación del agua en la fuente de abastecimiento es mayor a la altura piezométrica requerida o existente en el punto de entrega del agua, el transporte del fluido se logra por la diferencia de energías disponibles.

Las tuberías pueden estar construidas por varios materiales. Poseen un diámetro que es aquel que define una sección o área para que circule el agua, según sea el diámetro será la sección que dispone el agua para recorrer la tubería.

Para el diseño de una línea de conducción se requiere de un plano topográfico, mostrando plantas y elevaciones. Para lo que es necesario definir, mediante una selección de alternativas la ruta sobre la que se efectuara el trazo de la línea. Para definir cotas, distancias y posibles afectaciones sobre el derecho de vía propuesto, existe una amplia gama de materiales usados industrialmente para sistemas de conducción de agua potable.

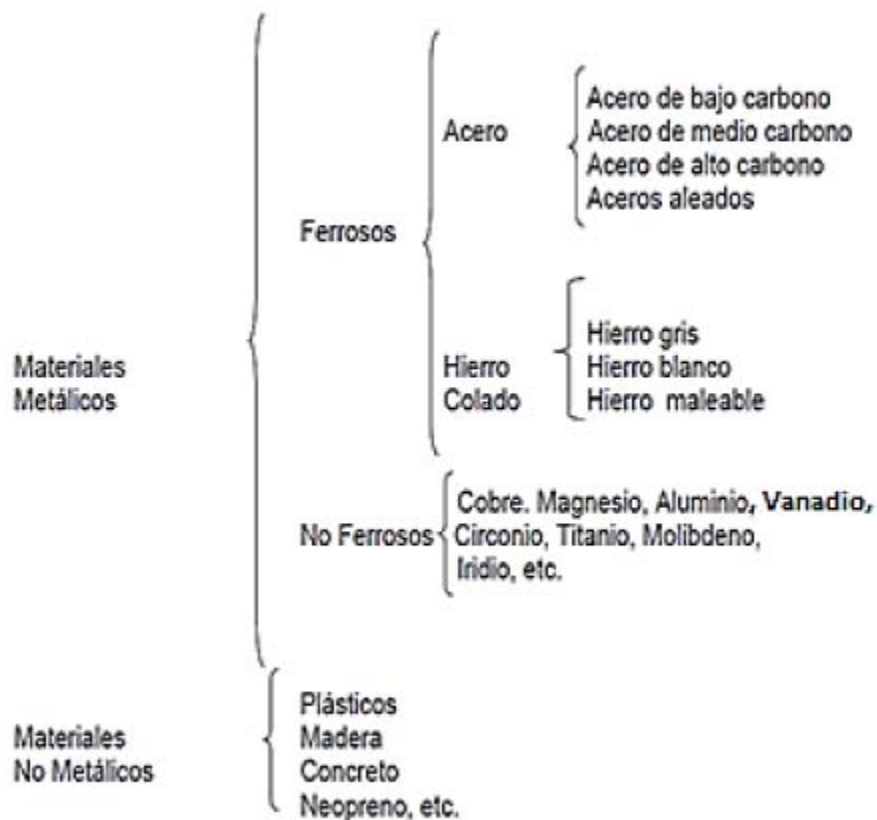


Figura 2.1.1 Clasificación de las tuberías

La selección de materiales de tubería para cualquier aplicación, debe estar basada en las recomendaciones de códigos aplicables, estándares dimensionales y especificaciones de materiales establecidas. Sin embargo, el ingeniero de diseño debe considerar también los requerimientos de servicio y parámetros tales como: resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, facilidad de instalación, costo y vida útil. El criterio económico estará determinado por el tipo de tubería, su diámetro y el espesor

En la fabricación de tuberías utilizadas en los sistemas de agua potable, los materiales de mayor uso son: fierro galvanizado, fibrocemento, concreto pre esforzado, PVC, hierro dúctil y polietileno de alta densidad.

Las piezas especiales utilizadas en el diseño de líneas de conducción son:

- Juntas._ las juntas se utilizan para unir dos tuberías, las de metal pueden ser de varios tipos, por ejemplo, Gibault, Dresser, etc.
- Carretes._ los carretes son tubos de pequeñas longitudes provistos de bridas en los extremos para su unión. Se fabrican de fierro fundido con longitudes de 25, 50 y 75cm
- Extremidades._ son tubos de pequeña longitud que se colocan sobre alguna descarga por medio de una brida en uno de sus extremos, se fabrican en longitudes de 40, 50 y 75cm para materiales de PVC, las extremidades pueden ser campana o espiga.
- Tee's._ se utilizan para unir tres conductos en forma de tee, donde las tres uniones pueden ser del mismo diámetro, o dos de igual diámetro y uno menor. En el segundo caso se llama tee de reducción.
- Cruces.- se utilizan para unir cuatro conductos en forma de cruz, donde las cuatro uniones pueden ser del mismo diámetro, o dos mayores de igual diámetro y dos menores de igual diámetro. En el segundo caso se llama cruz de reducción.
- Codos._ tienen la función de unir dos conductos del mismo diámetro en un cambio de dirección ya sea horizontal o vertical. Los codos pueden tener deflexiones de 22.5, 45 y 90 grados.
- Reducciones.- se emplean para unir dos tubos de diferentes diámetros. En materiales de PVC, las reducciones pueden ser en forma de espiga o de campana.
- Coples._ son pequeños tramos de tubo de PVC o de fibrocemento que se utilizan para unir las espigas de dos conductos del mismo diámetro. Los coples pueden ser también de reparación, los cuales se pueden deslizar libremente sobre el tubo para facilitar la unión de los dos tubos en el caso de una reparación.
- Tapones y tapas._ se colocan en los extremos de un conducto con la función de evitar la salida de flujo. En materiales de PVC, es costumbre llamarlos tapones pudiendo ser de forma de campana o espiga. En materiales de fierro fundido, se acostumbra llamarlos tapas ciegas.

Dentro de las piezas especiales también están las válvulas que son de diferentes tipos:

- Válvulas eliminadoras de aire de admisión y expulsión de aire._ se utiliza para expulsar el aire que contiene la tubería al momento de iniciar el llenado del conducto. Una vez que el agua ejerce presión sobre el flotador de la válvula, esta se cierra y no se abre mientras exista presión en el conducto.
Otra función es permitir la entrada de aire dentro del tubo al momento de iniciar el vaciado de la tubería y con ello evitar que se presenten presiones negativas.
- Válvulas de no retorno._ tiene la función de evitar la circulación del flujo en el sentido contrario al definido en el diseño.
- Válvulas de seccionamiento._ se utiliza para controlar el flujo entro del tubo, ya sea para impedir el paso del agua o reducir el gasto a un valor requerido.

La pérdida de presión es la principal consideración en el diseño de cualquier tubería. Aunque existen innumerables fuentes de pérdida de presión a lo largo de las tuberías, estas se pueden dividir para su estudio en pérdidas mayores o de fricción y en pérdidas menores o localizadas.

Las líneas de conducción de agua se calculan siguiendo varios procedimientos existentes. Su diseño general consiste en definir el diámetro en función de las pérdidas de carga, a partir del gasto que conducirá y el material de la tubería. En el caso de tuberías sujetas a la presión de la gravedad se pueden presentar dos situaciones.

- a) Donde la diferencia de alturas apenas es suficiente, para proporcionar una presión adecuada para el funcionamiento, el problema consiste en conservar la energía usando tubos de diámetros grandes para tener mínimas perdidas de carga por fricción y evitar bombeos de auxilio.
- b) Cuando la diferencia de alturas entre la fuente de abastecimiento y la ubicación del sitio a abastecer, es tal que la presión proporcionada es

mayor a la requerida, el problema radica en reducir las ganancias de presión, lo cual se logra seleccionando tuberías de diámetros más pequeños.

El gasto con el que se diseña la línea de conducción, se obtiene del gasto de diseño requerido, así como del gasto disponible que pueden proporcionar las fuentes de abastecimiento. Es importante conocer los gastos que pueden proporcionar las fuentes de abastecimiento, sus niveles del agua y del tipo de fuentes.

Acorde a la mecánica de fluidos los métodos de análisis consideran la capacidad de un flujo para transportar materia y el mecanismo por el que cambia sus propiedades de un lugar a otro, para lo cual establece como axioma que en los fluidos se satisfagan los principios básicos de la mecánica del medio continuo:

- a) Conservación de la materia(principio de continuidad)
- b) Segunda ley de Newton(impulso y cantidad de movimiento)
- c) Conservación de energía(primer ley de la termodinámica)
- d) Segunda ley de la termodinámica

El principio de la conservación de la materia o del transporte de masa permite derivar la primera ecuación fundamental o de continuidad, que admite diferentes simplificaciones de acuerdo con el tipo de flujo de que se trate o de las hipótesis que se deseen considerar. La segunda ley de Newton establece la relación fundamental entre la resultante de las fuerzas que actúan sobre la partícula y la variación en el tiempo de la cantidad de movimiento. De acuerdo con la forma en que se apliquen, puede conducir a dos ecuaciones; la primera (componente escalar según el flujo) llamada de la energía, permite calcular las diferentes transformaciones de la energía mecánica dentro del flujo y las cantidades disipadas en energía calorífica que en el caso de los líquidos, no se aprovecha. La segunda, del tipo vectorial llamada del impulso y cantidad de movimiento, permite determinar alguna de las fuerzas que producen el flujo si se conoce el camino en la cantidad de movimiento y las restantes fuerzas.

2.2. Ecuación de continuidad

Principio de conservación de la materia, de acuerdo con este, de la masa de un fluido que en la unidad de tiempo entra a un volumen especificado dentro del flujo, una parte se queda almacenada en su interior y el resto sale del volumen. Si el volumen que se estudia es de forma y magnitud constante, el almacenaje no puede ser indefinido.

Matemáticamente es preferible tratar con la cantidad neta de masa que sale y entra, sumadas algebraicamente; así el principio de conservación de la materia, aplicado a un volumen de control fijo completamente arbitrario dentro del flujo, se expresa de la forma siguiente:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Cantidad neta de masa} \\ \text{que atraviesa la superficie} \\ \text{de frontera del volumen,} \\ \text{en la unidad de tiempo} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{Rapidez de variación} \\ \text{de la masa contenida} \\ \text{en el volumen} \end{array} \right] = 0$$

Figura 2.2.1

Este principio se aplica lo mismo a un volumen de control de tamaño diferencial que a uno finito, de lo cual se deriva la llamada ecuación de continuidad (*ecuación 1.1*).

$$Ec.1.1 \quad Q = AV$$

Dónde:

Q=volumen de un fluido con respecto al tiempo que atraviesa por una sección transversal en un sistema en m³/s.

A=área de la sección transversal en m².

V=velocidad con la que viaja a través del sistema en m/s.

2.3. Ecuación de la energía

Si no se incluyen los efectos de termodinámicos en el flujo ni la adición o extracción de energía mecánica desde el exterior, es posible derivar las ecuaciones del movimiento –aplicables al flujo de líquido- a partir de la segunda ley de Newton. Para ello es necesario considerar las fuerzas que se oponen al movimiento, las cuales desarrollan un trabajo mecánico equivalente a la energía disipada al vencer dichas fuerzas.

Cuando se aplica la segunda ley de Newton a un elemento diferencial de masa de líquido, en la forma $dF=dm a$, se obtienen las ecuaciones de movimiento -a lo largo de una línea de corriente- para el flujo de un líquido real, no permanente; puede generalizarse para una vena líquida en flujo unidimensional. Para el planteo de las ecuaciones es necesario establecer el equilibrio dinámico de las fuerzas en las direcciones tangencial, normal y binormal, que actúan sobre el elemento líquido, con la fuerza de peso como única fuerza de cuerpo. Dicho elemento encierra al punto P, en el cual existen los valores v, p, ρ, τ (velocidad, presión, densidad y esfuerzo de fricción).

La forma más conocida del teorema de Bernoulli es:

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{\rho}{\gamma} + z = \text{constante}$$

La suma de los tres términos es constante a lo largo de una línea de corriente en un movimiento permanente e irrotacional (para un fluido ideal)

Cada uno de los términos tiene las dimensiones de una energía por unidad de peso del fluido.

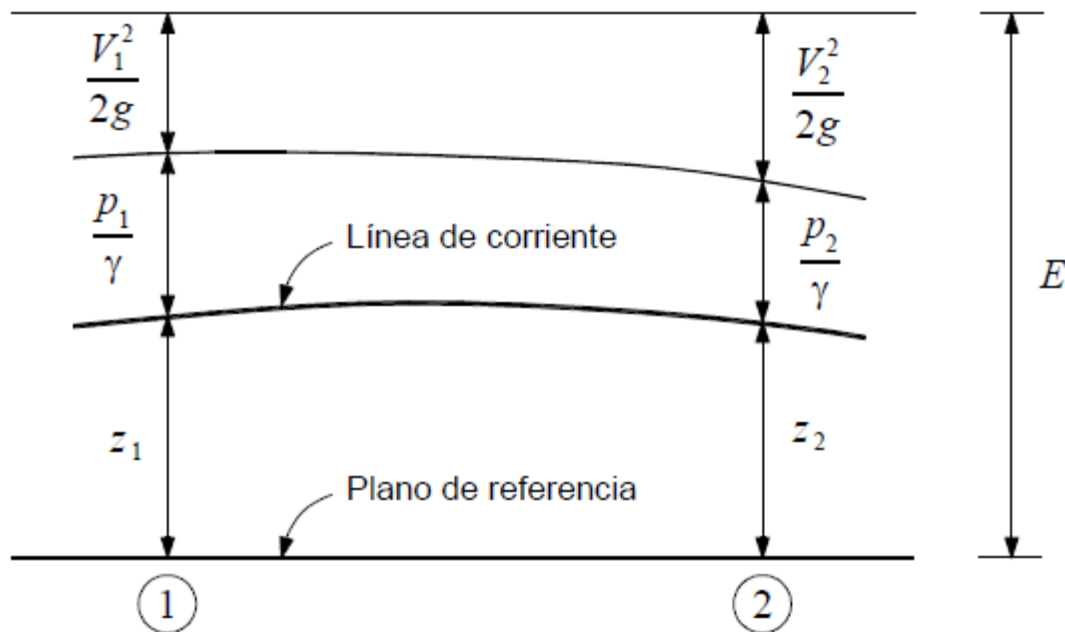


Figura 2.3.1 representación de la ecuación de Bernoulli

Al primer término $v^2/2g$, se le conoce con el nombre de energía de velocidad o energía cinética y representa la altura desde la que debe caer libremente un cuerpo, que parte del reposo, para adquirir la velocidad v .

Los otros dos términos son la altura de presión y la elevación. Su suma representa la energía potencial y constituye la cota piezométrica.

El teorema de Bernoulli significa que para una línea de corriente la suma de la energía cinética y potencial es constante. En un fluido ideal, (es decir sin viscosidad), la energía E en 1 es igual a la energía en 2. Para un fluido real habría una pérdida de energía entre 1 y 2. En realidad no es energía perdida, sino transformada en calor debido a la fricción.

La ecuación de la energía para un fluido real es entonces.

$$\text{Ec. 1.2 } z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_f$$

Dónde:

z = a la elevación con respecto a un plano horizontal de referencia en m

v = velocidad con la que viaja a través del sistema en m/s

g = a la aceleración de la gravedad que 9.81m/s^2

p = es la presión hidrostática en el conducto kg/m^2

γ = al peso específico del fluido kg/m^3

En un flujo paralelo se tendrá que la energía potencial (presión mas elevación) es constante para toda la sección transversal. La diferencia de energía entre una línea de corriente y otra se debe a la variación de la velocidad. En un flujo paralelo la distribución de presiones es hidrostática.

2.4. Efecto de la viscosidad

En estructuras largas, la pérdida por fricción es muy importante, por lo que ha sido objeto de investigaciones teoricoexperimentales para llegar a soluciones satisfactorias de fácil aplicación.

Para estudiar el problema de la resistencia al flujo resulta necesario volver a la clasificación inicial de los flujos y considerar las grandes diferencias de sus comportamientos entre los flujos laminar y turbulento. Osborne Reynolds (1883) en base a sus experimentos fue el primero que propuso el criterio para distinguir ambos tipos de flujo mediante el número que lleva su nombre, el cual permite evaluar la preponderancia de las fuerzas viscosas sobre las inercias. En el caso de un conducto cilíndrico a presión, el número de Reynolds se define así:

$$Ec. 1.3 Re = \frac{vD}{\nu}$$

Dónde:

Re =número de Reynolds es adimensional

v =velocidad media del flujo en m/s

D =diámetro de la tubería en m

ν =viscosidad del fluido en m^2/s

Reynolds encontró que en un tubo el flujo laminar se vuelve inestable cuando Re ha rebasado un valor crítico para tornarse después en turbulento. De acuerdo con diferentes investigadores el número crítico de Reynolds adquiere valores muy distintos que van desde 2000 (determinado por el mismo Reynolds) hasta 40000 (calculado por Eckman). De ello se deduce que dicho valor depende mucho de los disturbios iniciales y define además un cierto límite, abajo del cual estos se amortiguan, estabilizando al flujo laminar.

Es interesante observar que tanto el flujo laminar como el turbulento, resultan propiamente de la viscosidad del fluido por lo que, en ausencia de la misma, no habría distinción entre ambos. Es más, aun en flujo turbulento el esfuerzo tangencial o de fricción, producido por el intercambio en la cantidad de movimiento entre partículas que fluctúan lateralmente, en cierto modo es resultado de los efectos viscosos.

Cuando la superficie de la pared de un conducto se amplifica, observamos que está formada por irregularidades o asperezas de diferentes alturas y con distribución irregular o aleatoria. Dicha característica es difícil de definir científicamente pues depende de factores como la altura media de las irregularidades de la superficie, la variación de la altura efectiva respecto a la altura media, la forma y distribución geométrica, la distancia entre dos irregularidades vecinas, etcétera.

Puesto que es imposible tomar en consideración todos estos factores, se admite que la rugosidad puede expresarse por la altura media ϵ de las asperezas (rugosidad absoluta), como un promedio obtenido del resultado de un cálculo con las características del flujo, mas no propiamente por el obtenido como la media de las alturas determinadas físicamente de la pared, en cada conducción. Es más importante la relación que la rugosidad absoluta guarda con el diámetro del tubo, esto es, la relación ϵ/D , que se conoce como rugosidad relativa.

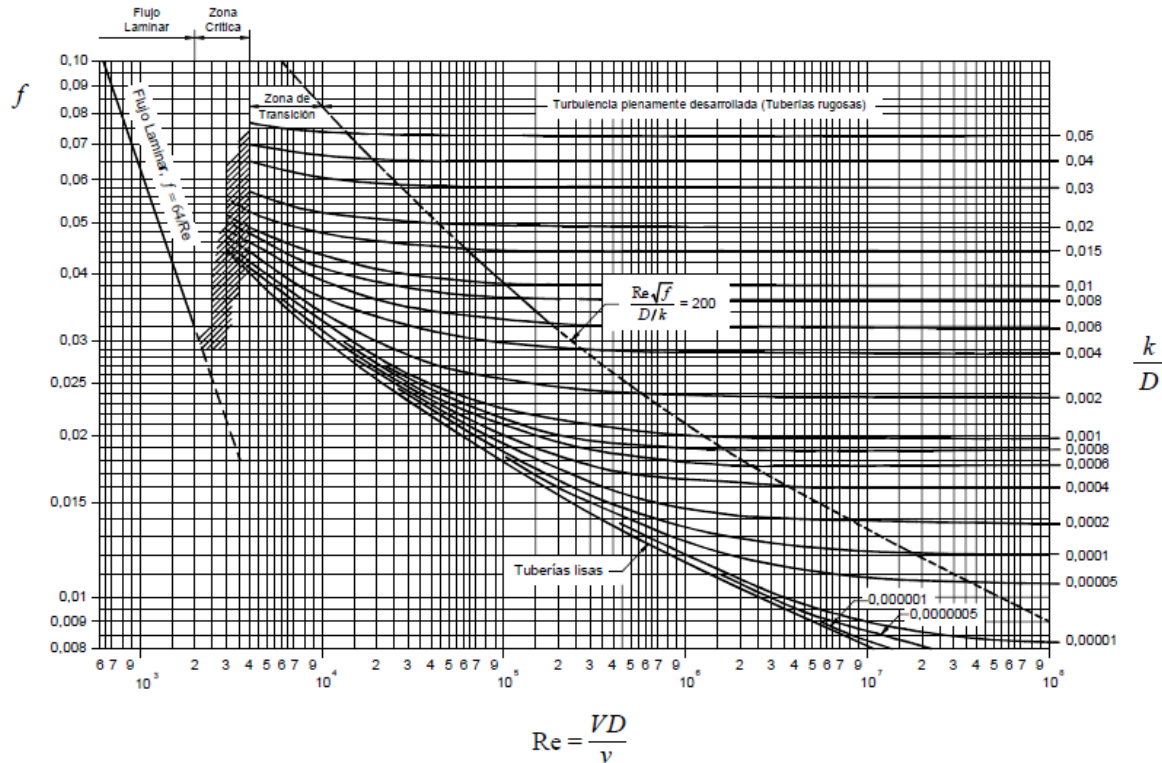


Figura 2.4.1 Abaco de Moody

Existen tubos como los de asbesto-cemento, cuya rugosidad es de forma ondulada y que se comporta hidráulicamente como si fueran tubos lisos (vidrio o plástico).

Tres conceptos geométricos de la sección de una conducción hidráulica, muy importante en el cálculo de las pérdidas de fricción son los siguientes.

Área hidráulica A , es decir el área de la sección transversal ocupada por el líquido dentro del conducto.

Perímetro mojado P , que es el perímetro de la sección transversal del conducto en el que hay contacto del líquido con la pared.

Radio hidráulico R_h , o sea la relación entre el área hidráulica y el perímetro mojado de la sección.

De igual como otra forma para determinar el factor de pérdida es mediante la ecuación de Swamee-Jain la cual es:

$$Ec. 1.4 f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2}$$

2.5. Pérdidas de energía por fricción en la conducción

Formula de Darcy-Weisbach

Para un flujo permanente, en un tubo de diámetro constante, la línea de cargas piezométricas es paralela a la línea de energía inclinada en la dirección del movimiento. En 1850, Darcy, Weisbach y otros, dedujeron experimentalmente una fórmula para calcular en un tubo la pérdida por fricción:

$$Ec. 1.5 h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

f= factor de fricción, sin dimensiones

g= aceleración de la gravedad en m/s²

h_f= pérdidas por fricción, en m

D= diámetro del tubo, en m

L= longitud del tubo, en m

v= velocidad media, en m/s

El factor de fricción es función de la rugosidad ε y del número de Reynolds Re en el tubo, esto es:

$$Ec. 1.6 f = f(k, Re)$$

2.6. Perdidas locales

Las perdidas locales de energía se generan en distancias relativamente cortas, por accesorios en la conducción tales como codos, tee's, cruces, válvula, etc.

Para calcular las perdidas locales de energía se utiliza la expresión general

$$Ec\ 1.7\ h = k \frac{v^2}{2g}$$

Dónde:

k= es un coeficiente de perdida que depende del tipo de accesorio que lo genera es adimensional

g= es la aceleración de la gravedad, en m/s²

h= es el valor de perdida generado por el accesorio

v= es la velocidad medio del flujo m/s

Por lo general aguas abajo del dispositivo, exceptuando el caso de la llegada del flujo de una tubería a un depósito, en cuyo caso v es la velocidad en el tubo.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de k en función del tipo de accesorio.

En el caso de un ensanchamiento brusco el valor de l es igual 1.0 y el valor de v de la ecuación 1.6 se sustituye por la diferencia de velocidades existente en los tubos aguas arriba y aguas abajo del ensanchamiento

Tabla 1: valores de k para la ecuación 1.6

| ACCESORIOS | | |
|------------|--|----------------|
| 1 | De depósito a tubería (perdida de entrada) | |
| | Conexión a ras de pared | 0.50 |
| | Tubería entrante | 1.00 |
| | Conexión abocinada | 0.05 |
| 2 | De tubería a deposito (perdida de salida) | 1.00 |
| 3 | Contracciones bruscas | K _c |
| 4 | Codos y tee's | |

| | | |
|--|-------------|-------------|
| | Codo de 45° | 0.35 a 0.45 |
| | Codo de 90° | 0.50 a 0.75 |
| | Tee | 1.50 a 2.00 |

Tabla 2: valores de K_c para una contracción brusca

| D_1/D_2 | K_c |
|-----------|-------|
| 1.20 | 0.08 |
| 1.40 | 0.17 |
| 1.60 | 0.26 |
| 1.80 | 0.34 |
| 2.00 | 0.37 |
| 2.50 | 0.41 |
| 3.00 | 0.43 |
| 4.00 | 0.45 |
| 5.00 | 0.46 |

Para el proyecto de líneas de conducción a presión se deben tomar en cuenta los siguientes factores principales:

2.7. Consideraciones de proyecto

2.7.1 Topografía

El tipo y clase de tubería por usar en una conducción depende de las características topográficas de la línea. Es conveniente obtener perfiles que permitan tener presiones de operación bajas, evitando también tener puntos altos notables.

Para llevar a cabo el proyecto de una conducción resulta útil apoyarse sobre cartas topográficas del INEGI para estudiar los posibles trazos.

Sobre el trazo de la conducción, será necesario obtener un levantamiento topográfico en planimetría y altimetría, marcando las elevaciones del terreno natural a cada 20 metros, en los puntos donde existen cambios importantes de la pendiente del terreno y en los puntos donde cambia el trazo horizontal de la conducción.

Es importante localizar sobre el trazo los cruces importantes de la conducción, tales como ríos, arroyos, canales. Carreteras y vías de ferrocarril.

El proyecto ejecutivo de la conducción se presenta en planta y en perfil. En el perfil se dibuja la línea de energías a flujo establecido y además de las envolventes de energía máxima y mínimas para el flujo transitorio.

2.7.2 Afectaciones

Para el trazo de la línea se deben tomar en cuenta los problemas resultantes por la afectación de terrenos ejidales y particulares. De ser posible se utilizaran los derechos de vía de cauces de agua, caminos, ferrocarriles, líneas de transmisión de energía eléctrica y linderos.

2.7.3 Clase de terreno por excavar

En general, las tuberías de conducción deben quedar enterradas, principalmente las de asbesto cemento y PVC.

2.7.4 Población de proyecto

La población de proyecto es la cantidad de personas que se espera tener en una localidad al final del periodo de diseño del sistema de agua potable y alcantarillado.

La proyección de la población debe de realizarse con un estudio en base a los datos disponibles o factibles de obtener para la localidad en cuestión. La comisión nacional de agua ha editado la norma técnica NT-011-CNA-2001 “Métodos de proyección de población” que explica los procedimientos a seguir para ese fin, en diferentes situaciones en cuanto a los datos disponibles. La población que habrá en “n” años después del año *I* se calcula por la siguiente ecuación.

$$\text{Ec. 1.8 } P_{i+n} = P_i(1 + Tc)^n$$

Dónde:

P_i = población conocida al inicio del periodo año *I*, en número de habitantes

P_{i+n} = población en “n” años después, en número de habitantes

T_c = tasa de crecimiento, adimensional

n = número de años a proyectarse

La tasa de crecimiento por lo general es variable en el tiempo, ya que en cuestiones de población es altamente improbable que se mantenga constante esa tasa.

La determinación de la tasa de crecimiento depende de los datos disponibles, para lo cual en la norma NT-011-CNA-2001 se consideran 9 posibles casos. Si se tienen datos históricos del crecimiento de la población, la tasa T_c en porcentaje se determina de la siguiente ecuación

$$Ec. 1.9 T_c\% = \left[\left(\frac{P_{i+n}}{P_i} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] 100$$

En todo caso, se recomienda emplear en la proyección los datos oficiales del consejo nacional de población, disponible de su página de internet www.conapo.gob.mx.

2.7.5 Periodo de diseño

Es el intervalo de tiempo durante el cual se estima que la obra por construir llega a su nivel de saturación, este periodo debe ser menor que la vida útil.

Los periodos de diseño están vinculados con los aspectos económicos, que están en función del costo, esto es, de la tasa de interés real, entendiéndose por tasa de interés real el costo del dinero en el mercado menos la inflación. Mientras más alta es la tasa de interés es más conveniente diferir las inversiones, lo que implica reducir los periodos de diseño. Cabe que no se debe desatender los aspectos financieros, estos es los flujos de efectivo del organismo operador que habrá que pagar por las obras y que la selección del periodo de diseño habrá de atender tanto al monto de las inversiones en valor presente como a los flujos de efectivo.

Considerando lo anterior, se recomienda que el periodo de diseño sea de cinco años, con excepción de aquellas obras en que no se puedan concebir proyectos modulares (obras que no pueden ampliarse fácilmente).

Siempre que sea factible se deberán concebir proyectos modulares, que permitan diferir las inversiones el mayor tiempo posible.

2.7.6 Vida útil

Es el tiempo que se espera que la obra sirva a los propósitos de diseño, sin tener gastos de operación y mantenimiento elevados, que hagan antieconómico su uso o que requiera ser eliminada por insuficiente

Este periodo está determinado por la duración misma de los materiales de los que estén hechos los componentes, por lo que es de esperar que este lapso sea mayor que el periodo de diseño. Otros factores que determinan la vida útil de las obras de agua potable y alcantarillado son la calidad del agua a manejar y la operación y mantenimiento del sistema.

Se deben tomar en cuenta todos los factores, características y posibles riesgos de cada proyecto en particular, para establecer adecuadamente el periodo de vida útil de cada una de las partes del sistema de agua potable, alcantarillado y saneamiento.

2.7.7 Consumo

El consumo es la parte del suministro de agua potable que generalmente utilizan los usuarios, sin considerar las pérdidas en el sistema. Se expresa en unidades de $m^3/día$ o $l/día$, o bien cuando se trata de consumo per cápita se utiliza $l/hab/día$.

El consumo de agua se determina de acuerdo con el tipo de usuarios, se divide según su uso en: doméstico y no-doméstico; el consumo doméstico, se subdivide según la clase socioeconómica de la población en residencial, medio y popular. El consumo no doméstico incluye el comercial, el industrial



Figura 2.7.1

2.8. Pérdidas físicas

Las pérdidas físicas se refieren al agua que se escapa por fugas en líneas de conducción, tanques, red de distribución y tomas domiciliarias.

En estudios de campo, se ha definido que estas pérdidas se determinan a partir de muestreos de inspección y aforo (fugas en tomas domiciliarias), de medición en sectores controlados, llamados distritos hidrométricos (fugas en tuberías principales y secundarias y pérdidas en tomas clandestinas); y de verificación de un grupo de micro medidores domiciliarios (pérdidas por mala medición).

El volumen diario de pérdidas físicas V_p , que se considera para el cálculo de las demandas y dotaciones será el obtenido con la ecuación siguiente.

$$Ec. 1.10 \quad V_p = V_{fr} + V_{ft}$$

Dónde:

V_p = volumen de pérdidas, en m^3 .

V_{fr} = volumen de fugas en la red, en m^3 .

V_{ft} = volumen de fugas en tomas domiciliarias, en m^3 .

Las pérdidas de agua dependen de factores tales como: la presión de trabajo, la calidad de la tubería y los accesorios, el proceso constructivo, el tipo de material, la antigüedad de los elementos del sistema y el mantenimiento preventivo y correctivo que se les practiquen a los elementos del sistema.

Las consideraciones que sirven para orientar al proyectista, en la evaluación de los porcentajes de las pérdidas, son las siguientes.

Si se dispone de presupuesto y tiempo, establecer el valor de las pérdidas con base en un estudio de evaluación de fugas.

Considerar un valor promedio del volumen diario de pérdidas, obtenido de acuerdo a una o varias localidades similares en cuanto a nivel socioeconómico, tamaño de población, ocurrencia de fugas, etc. Que ya dispongan de un estudio similar al del párrafo anterior.

En caso de no disponer de información, se puede considerar un valor comprendido entre el 40% y el 60% del volumen suministrado, que es el resultado del estudio de campo de 21 ciudades de la república mexicana.

De acuerdo con experiencias nacionales e internacionales, se estima que en localidades donde tenga implementado un programa de detección y control de fugas, se puede aspirar al reducir el porcentaje de fugas entre el 1% y el 2% anualmente, razón por la que se puede esperar que en el mediano plazo (5 a 10 años) las fugas sean del orden de 30%.

2.9. Dotación

La dotación es la cantidad de agua asignada a cada habitante, considerando todos los consumos de los servicios y las pérdidas físicas en el sistema en un día medio anual, sus unidades están dadas en l/hab/día.

La dotación media de una localidad se obtiene a partir de un estudio de demandas, dividiendo el consumo total, que incluyen servicios, domésticos, comercial, industrial y de servicios públicos, y las pérdidas físicas del agua, entre

el número de habitantes de la localidad. Cabe hacer la aclaración que para el diseño de los elementos de un sistema de agua potable, se calculara la dotación particular que le corresponde a cada zona (habitacional, residencial, media o popular, comercial o industrial).

Para determinar la demanda de agua potable de una ciudad deben considerarse factores como: tamaño de la ciudad, distribución de la población por estrato socioeconómico, clima y sus variaciones en el año, existencia de alcantarillado, y otros. Una especie de importancia en esta determinación reviste el concepto de elasticidad de la demanda que expresa la reacción de los usuarios cuando cambia algún parámetro de influencia (como precio unitario del producto, ingreso familiar, clima, etc.) la elasticidad de la demanda es un parámetro esencial en el estudio de evaluación socioeconómica, que ahora es necesario para justificar la necesidad de cualquier proyecto de agua potable.

2.10. Coeficiente de variación

Los coeficientes de variación se derivan de la fluctuación de las demandas debido a los días laborables y otras actividades.

Los requerimientos de agua para un sistema de distribución no son constantes durante el año, ni el día, sino que la demanda varia en forma diaria y horaria. Debido a la importancia de las fluctuaciones para el abastecimiento de agua potable, es necesario obtener los gastos máximos diarios y máximos horarios, los cuales se determinan multiplicando el coeficiente de variación diaria por el gasto medio diario y el coeficiente de variación horaria por el gasto máximo diario respectivamente. La siguiente tabla muestra los gastos utilizados para el diseño de las estructuras en los sistemas de abastecimiento de agua potable.

| Tipo de estructura | Diseño con Q max diario | Diseño con Q max horario |
|---|-------------------------|--------------------------|
| Fuentes de abastecimiento | x | |
| Obra de captación | x | |
| Línea de conducción antes de regulación | x | |
| Tanque de regulación | x | |

| | | |
|--------------------------------|--|---|
| Línea de alimentación a la red | | x |
| Red de distribución | | x |

Para la obtención de los coeficientes de variación diaria y horaria lo adecuado es:

Hacer un estudio de demanda de la localidad, utilizando los criterios descritos anteriormente.

Si no se puede llevar a cabo lo anterior.

- Considerar los valores de los coeficientes de variación diaria y horaria medios que se obtuvieron del estudio de “actualización de dotaciones en el país llevado a cabo por el instituto mexicano de tecnología del agua; en donde se determinó la variación del consumo por hora y por día durante un periodo representativo en cada una de las estaciones del año, calculando los coeficientes por clase socioeconómica y por clima.
- Del análisis de la información de este trabajo, se identificó que no había una diferencia significativa entre el tipo de usuarios, clima y estaciones del año, por lo que se pueden utilizar los valores promedios, que se dan a continuación.

| Concepto | Valor |
|---|-------|
| Coefficiente de variación diaria (CVd) | 1.40 |
| Coefficiente de variación horaria (CVh) | 1.55 |

2.11. Gastos de diseño

El gasto medio es la cantidad de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población en un día de consumo promedio.

El gasto medio diario es:

$$Ec. 1.11 Q_{med} = \frac{DP}{86400}$$

Dónde:

Q_{med} = gasto medio diario, en l/s.

D = dotación en l/hab/día.

P = número de habitantes.

86400 = segundos/día

2.12. Gasto máximo diario y horario

Los gastos máximos diarios y máximo horario, son los mejores para satisfacer las necesidades de la población en un día de máximo consumo, y a la hora de máximo consumo en un año tipo, respectivamente.

Los gastos máximo diario y máximo horario se obtienen a partir del gasto medio con las siguientes ecuaciones.

$$Ec. 1.12 \quad Q_{Md} = CV_d \times Q_{med}$$

$$Ec. 1.13 \quad Q_{Mh} = CV_h \times Q_{Md}$$

Dónde:

Q_{Md} = gasto máximo diario, en l/s.

Q_{Mh} = gasto máximo horario, en l/s.

CV_d = coeficiente de variación diaria.

CV_h = coeficiente de variación horaria.

Q_{med} = gasto medio diario, en l/s.

2.13. Velocidades máximas y mínimas.

Las velocidades permisibles del líquido en un conducto están gobernadas por las características del material del conducto y la magnitud de los fenómenos transitorios. Existen límites tanto inferiores como superiores. La velocidad mínima

de escurrimiento se fija, para evitar la precipitación de partículas que arrastre el agua. La velocidad máxima será aquella con la cual no deberá ocasionarse erosión en las paredes de la tubería en la siguiente tabla se presentan los valores de estas velocidades para diferentes materiales de tubería.

Tabla 3

| Material de la tubería | Velocidad (m/s) | |
|--|-----------------|---------|
| | Máximas | Mínimas |
| Concreto simple hasta 45cm de diámetro | 3.00 | 0.30 |
| Concreto reforzado de 60cm de diámetro o mayores | 3.50 | 0.30 |
| Concreto presforzado | 3.50 | 0.30 |
| Acero con revestimiento | 5.00 | 0.30 |
| Acero sin revestimiento | 5.00 | 0.30 |
| Acero galvanizado | 5.00 | 0.30 |
| Asbesto cemento | 5.00 | 0.30 |
| Fierro fundido | 5.00 | 0.30 |
| Hierro dúctil | 5.00 | 0.30 |
| Polietileno de alta densidad | 5.00 | 0.30 |
| PVC | 5.00 | 0.30 |

2.14. Válvulas, uso y ubicación.

Cada vez que la conducción se pone en funcionamiento, es necesario expulsar el aire de la tubería para permitir que el tubo pueda llenarse de agua, en ocasiones esto no es necesario, ya que el perfil puede ser tal que la tubería puede mantenerse llena.

Cuando la conducción se encuentra fuera de funcionamiento y que esta requiere desaguarse, por ejemplo para realizar alguna reparación de la tubería, es necesario abrir las válvulas de desagüe colocadas en los puntos bajos de la tubería, y en los puntos altos es preciso admitir aire en la tubería.

Para que se logre el llenado y el vaciado de la tubería, se colocan válvulas de admisión de aire y expulsión de aire, las cuales hacen la doble función, expulsar el

aire cuando la tubería se está llenando, o admitir aire a la tubería cuando esta se está vaciando.

Cuando la conducción se encuentra en funcionamiento, en las partes altas de la conducción tiende a acumularse el aire que viene disuelto en el agua. Se estima que el agua que se transporta en los tubos contiene aproximadamente un 2% de aire.

Para desalojar el aire que se va acumulando por esta situación, se colocan válvulas eliminadoras de aire en los puntos altos de la conducción.

Se recomienda colocar válvulas eliminadoras de aire y válvulas de admisión y expulsión de aire en todos los puntos altos de la conducción y en los tramos largos sensiblemente planos a distancias de 400 a 800 m. las válvulas de desagüe se colocan en las partes bajas.

La válvula de admisión y expulsión de aire se deberá elegir de un diámetro mínimo capaz de admitir y expulsar el aire de un sistema a través de su orificio de venteo, sin exceder de una presión diferencial permisible.

A) Para seleccionar el diámetro mínimo capaz de expulsar aire , aplíquese la formula siguiente para convertir el gasto a pies cúbicos de aire por segundo

$$Ec. 1.14 \text{ PCAS} = \frac{Q}{28.32}$$

Dónde:

PCAS= Pies cúbicos de aire por segundo

Q= gasto en litros por segundo

Con el resultado, en la gráfica se deberá elegir el diámetro de la válvula sin exceder de una presión diferencial de 2 lb/pulg².

B) El diámetro mínimo capaz de admitir aire, está dado por el diámetro de la tubería y de la pendiente en metros de altura entre los metros de longitud. Se pueden tener dos pendientes diferentes, por lo que deberá considerarse la pendiente más severa

$$Ec. 1.15 \text{ PCAS} = 0.08665\sqrt{PD^5}$$

PCAS= Pies cúbicos de aire por segundo

P= Pendiente (metros de altura entre metros de longitud)

D= Diámetro de la tubería en pulgadas

Con el resultado, en la gráfica, se deberá elegir el diámetro de la válvula sin exceder de una presión diferencial de 5 lb/pulg².

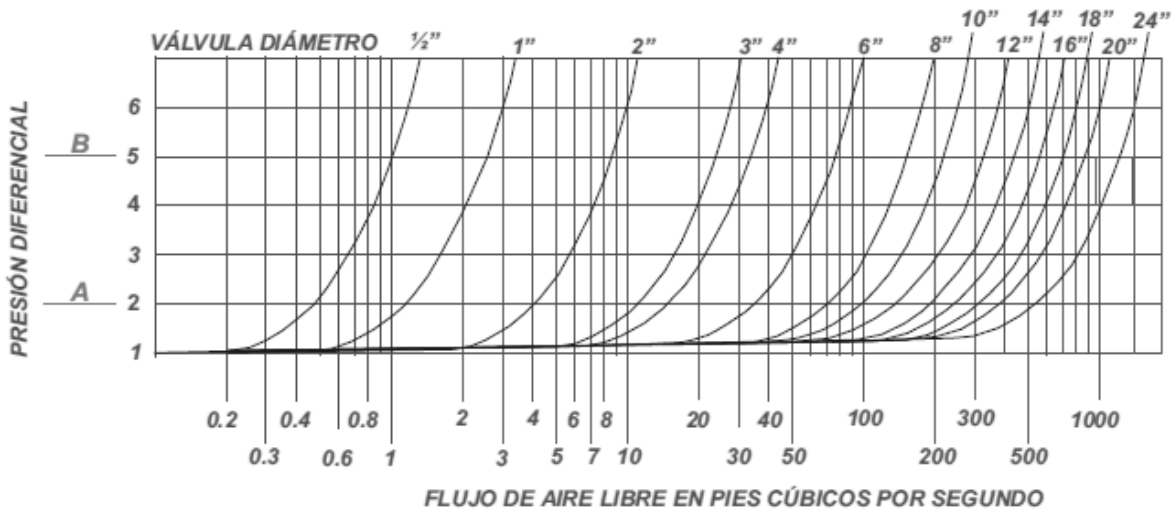


Figura 2.14.1

El diámetro de admisión se obtiene con base al gasto máximo de vaciado considerando una depresión máxima admisible de 0.35Pa y un adecuado tiempo de vaciado. Además, debe tomarse en cuenta la presión mínima permitida por el material del tubo donde se coloca la válvula.

2.15. Llenado y vaciado programado de la conducción

el acueducto debe ser llenado de agua cuando comienza a trabajar por primera vez para realizar por primera vez y debe ser vaciado para realizar reparaciones o inspeccionar algún punto de acceso difícil. Luego de ser vaciado, deberá llenarse antes de comenzar a operar nuevamente. En consecuencia, los proyectistas y los operadores de acueductos deben considerar estas operaciones normales. Por lo tanto las mismas deben exhaustivamente analizadas en la etapa de diseño y los

fenómenos hidráulicos y neumáticos peculiares que ocurren durante su ejecución deben ser bien comprendidos por los operadores del acueducto.

Se caracterizan como programados los llenados y vaciados que obedecen a una decisión de los operadores. De distinguen de los fenómenos denominados accidentales pues estos se producen sin mediar decisión de los operadores del sistema hidráulico.

2.15.1 Llenado programado

La operación de llenado de un acueducto supone la expulsión del aire y su sustitución por agua. En esta sección se admitirá que el acueducto puede ser llenado completamente sin que ocurran vaciados accidentales a gasto nulo.

La expulsión de aire se realizara a través de las conexiones permanentes que el acueducto tiene con la atmosfera (extremos aguas abajo, conexiones con tanque de oscilación, etc.) pero fundamentalmente se debe producir a través de las válvulas de expulsión de aire distribuidas a lo largo del acueducto. Estas válvulas se colocan en todos los puntos donde puede quedar el aire atrapado durante el llenado. El aire puede quedar atrapado, por ejemplo, en los tramos con puntos altos de la tubería o en tramos obstruidos por válvulas de seccionamiento durante la etapa del llenado. Este aire atrapado, de no expulsarse al exterior, generara fenómenos de oscilación y eventuales sobrepresiones cuando el acueducto comience a trabajar. Para la expulsión del aire se emplean válvulas apropiadas.

Estas válvulas solo cierran cuando el agua llega hasta ellas y empuja el flotador contra el orificio. Cuando ello ocurre, el flujo de agua por la tubería se modifica puesto que la válvula que antes expulsaba un gasto Q_1 de aire igual a la presión de expulsión a una fracción (Q_1/Q) del gasto de agua empleado para el llenado (Q), al cerrarse ya no expulsa gasto alguno. Por lo tanto, el gasto de llenado es sometido a una alteración súbita ΔQ aproximadamente igual a Q_1 .

Esta alteración súbita, da lugar a un fenómeno de presión que se propaga por ondas en la tubería. El incremento máximo de presión es proporcional a $\Delta Q/A$

donde A es el área de la tubería siendo a/g la constante de propagación de las ondas (a=1000m/s) y g la aceleración de la gravedad. Multiplicando $\Delta Q/A$ por dicha constante se obtiene el incremento de presión que se expresa en metros columna de agua (Δh). Este fenómeno de incremento de presión por cierre súbito de una válvula, se empleara la relación $\Delta h < \Delta Q \frac{a}{gA}$ para determinar el máximo gasto posible a emplear en el llenado. Si la resistencia de la tubería, expresada en metros de columna de agua de presión atmosférica interior es Δh el ΔQ_{max} será:

$$\Delta Q_{max} = \Delta h \times \frac{Ag}{a}$$

El ΔQ_{max} así determinado no define el gasto máximo de llenado a menos que se haga alguna hipótesis sobre Q1. La hipótesis más segura es admitir que Q1=Q y Q2=0. Por lo tanto el gasto máximo de llenado quedara determinado por la siguiente expresión:

$$Ec. 1.16 \Delta Q_{max} = \Delta h \times \frac{Ag}{a}$$

Donde Δh expresa la resistencia de la tubería de menor resistencia, en el tramo que se analiza.

Determinado entonces por medio de la formula anterior el gasto máximo de llenado, con dicho gasto se determina la capacidad mínima de expulsión de aire de cada válvula de aire del tramo considerado. La expulsión de este gasto no debe requerir mas de 3m.c.a. de sobrepresión en el acueducto. Nótese que, si en el llenado del tramo actúa simultáneamente más de una válvula de expulsión, el gasto debe dividirse entre el número de válvulas actuantes, las válvulas de expulsión también se emplean para la admisión de aire y puede ocurrir que se requiera mayor capacidad en la admisión que en la expulsión y en ese caso la capacidad será fijada por la capacidad necesaria de admisión. Así mismo si para hacer efectivo un gasto de llenado como el dado por la ecuación anterior se requieren válvulas de expulsión de aire que se juzguen antieconómicas, puede reducirse el gasto de llenado sabiendo que crecerá en proporción inversa el tiempo necesario para llenar el sistema.

2.15.2 Vaciado programado

Cuando el acueducto se detiene y el gasto se reduce a cero, la tubería debe quedar llena. Por lo tanto con gasto nulo en ningún punto del acueducto deben producirse depresiones. Sin embargo, si se desea vaciar el acueducto esta operación debe estar prevista en el diseño del sistema. El vaciado se realiza mediante válvulas de vaciado o desfogue colocadas en los puntos bajos de la línea. En general debe colocarse una válvula de vaciado en todo punto donde pueda quedar agua quieta en el sistema. Estas válvulas que son normalmente de compuerta deben abrirse a la presión hidrostática que resulta sobre ellas al detenerse el flujo en el sistema. Obsérvese que al abrirse la válvula de vaciado se tiene la presión atmosférica aguas debajo de dicha válvula y si en la tubería no se admitiese aire atmosférico se puede generar una depresión en la tubería que vale Δz por debajo de la presión atmosférica si Δz cumple que

$$\Delta z \leq \frac{P_a - P_v}{\gamma}$$

Donde P_a es la presión atmosférica absoluta y P_v la presión de vapor absoluta a la temperatura de trabajo. En todos los puntos del tramo vaciado por las válvulas cuyas cotas no verifiquen se producirá evaporación del agua y se establecerá la presión de vapor P_v . En esta situación, la tubería puede colapsar si no resiste la depresión impuesta. Por todo ello, la operación de vaciado exige la colocación de válvulas de admisión en aire, como mínimo, en los puntos más altos de la tubería. Una vez abiertas las válvulas de vaciado, el gasto que salga por ellas estará fijado por el gasto de aire que pueda entrar al acueducto por las válvulas de admisión de aire.

El dimensionamiento de las válvulas de admisión de aire exige conocer cuáles son las depresiones máximas que puede soportar la tubería afectada por el vaciado de cada tramo y a partir de ellas calcular el gasto máximo que por gravedad puede fluir hacia la correspondiente válvula de vaciado completamente abierta. Este gasto máximo de agua deberá ser igualado por el gasto de aire que penetre por todas las válvulas de admisión de aire que trabajen simultáneamente en el tramo.

En general, y por seguridad se trata de que en la tubería no se conformen depresiones mayores a 3m.c.a. por debajo de la presión atmosférica. De manera que es con esta diferencia de presión que deben dimensionarse las válvulas de admisión de aire para suplir el gasto que sale por la válvula vaciado. Naturalmente que la propia válvula de vaciado debe dimensionarse de acuerdo con el Δz que actué sobre ella, para no descargar gastos tales que obliguen a disponer de válvulas de admisión de aire de capacidad desmesurada. Los tramos con mayor Δz requerirán válvulas de vaciado más pequeñas que los tramos con menor Δz .

Las dimensiones de la válvula de vaciado se definen de acuerdo al tiempo de vaciado del acueducto que se estime conveniente desde el punto de vista de la operación del mismo. Como se trata de una operación eventual, cuyo periodo de realización para un acueducto corriente no debe ser inferior al año; todo indica que un criterio razonable es que le vaciado del sistema pueda realizarse dentro de un turno de 8 horas.

2.16. Líneas de conducción por gravedad

Para una línea de conducción por gravedad, se presenta un modelo para encontrar el tubo necesario que pueda transportar el gasto de diseño sobre una topografía que proporciona un desnivel favorable hacia el punto de descarga en este tipo de conducción se tiene un desnivel disponible dado entre las cargas hidráulicas existentes en el inicio (en la fuente) y el final (la descarga) de la conducción. Sea el valor de este desnivel H_{disp} . El problema consiste entonces en determinar el diámetro del tubo que conducirá el gasto deseado Q con una pérdida de carga en la conducción igual a H_{disp} .

El diámetro probable de una línea de conducción se puede determinar por las siguientes ecuaciones:

$$Ec. 1.19 D = \left(3.21 \frac{Qn}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

Dónde:

Q= gasto, en m³/s

D= diámetro del tubo, en m

n= coeficiente de rugosidad de manning

S= pendiente hidráulica, desnivel topográfico entre la longitud de la línea

O también aplicando:

$$Ec. 1.20 D = 1.2o1.5Q^{1/2}$$

Dónde:

D= diámetro teórico, en pulgadas

Q= gasto máximo diario en m³/s

Para sistema de abastecimiento rural se tomara 1.2 y para sistemas urbanos se tomara 1.5.

Se utilizara el diámetro que cumpla con los límites permisibles de velocidad para cada material

Para evitar el constante cierre y apertura de válvulas en una conducción por gravedad, su funcionamiento deberá cubrir las 24 horas del día. Es por ello que al existir una sola descarga, el gasto de esta es igual al gasto máximo diario.

2.17. Criterios de resistencia

2.17.1 Resistencia a las sobrepresiones

En general, la única información que los fabricantes de tuberías y accesorios ofrecen en cuanto a la resistencia de sus productos es la llamada "clase" del producto, expresada por la presión máxima que el producto soporta sin dañarse.

La "clase" no establece una diferencia entre presiones estacionarias y transitorias, y por lo tanto la protección anti ariete debe reducir las presiones máximas por debajo de este límite.

2.18 Tipos de materiales para líneas de conducción.

2.18.1 Tuberías de PVC

Los tubos de poli (cloruro de vinilo) (PVC) (serie métrica) se fabrican en color blanco de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-E-143 vigente, donde se clasifican de acuerdo a su sistema de unión en un solo tipo y un solo grado de calidad como espiga-campana, y por su resistencia a la presión de trabajo en cinco clases.

| Clase | Presiones máximas de trabajo | |
|-------|------------------------------|---------------------|
| | MPa | Kgf/cm ² |
| 5 | 0.5 | 5 |
| 7 | 0.7 | 7 |
| 10 | 1 | 10 |
| 14 | 1.4 | 14 |
| 20 | 2 | 20 |

Tabla 2.18.1.1

La junta espiga-campana se forma al insertar el extremo liso del tubo en el extremo campana del siguiente tubo (figura 2.7). Para garantizar la unión hermética se coloca un anillo de material elástico. Tiene como ventajas el funcionar como junta de dilatación, así como el permitir deflexiones y realizar la prueba hidrostática al terminar su instalación. Este tipo de junta es ampliamente utilizada en la tubería de PVC, concreto y hierro fundido.

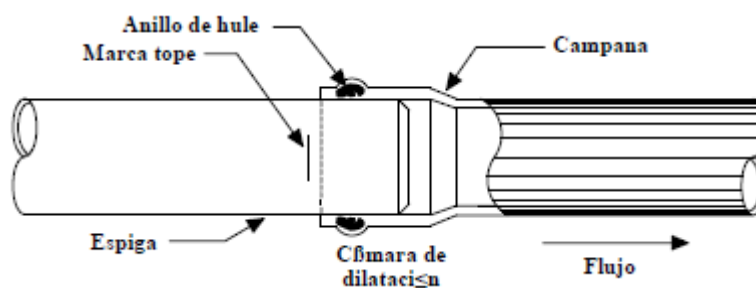


Figura 2. 18,1.1 Unión espiga-campana en tubería de PVC

La serie métrica de tubos de PVC se fabrica en diámetros nominales de 50 a 630 mm (50, 63, 80, 100, 160, 200, 250, 315, 355, 400, 450, 500 y 630 mm) con longitud útil de seis metros (se pueden acordar otras longitudes previo acuerdo entre fabricante y comprador). Las cinco clases existentes se diferencian en el

espesor de pared del tubo. Es importante señalar que en este tipo de tubería el diámetro nominal es igual al diámetro exterior del tubo.

Las ventajas de los tubos de PVC incluyen:

- Hermeticidad. Por su naturaleza el PVC impide filtraciones y fugas, lo cual se garantiza si los tubos cuentan con una junta hermética. Se recomienda la unión espiga-campana con anillo de hule integrado porque actúa como junta de dilatación.
- Pared interior lisa. Presenta bajas pérdidas por fricción, por lo cual tiene alta eficiencia en la conducción de fluidos.
- Resistencia a la corrosión. El PVC es inmune a la corrosión química o electroquímica. Por lo tanto no requiere recubrimientos, forros o protección catódica. No se forman incrustaciones ni tuberculizaciones (formaciones de óxido).
- Resistencia química. El PVC es altamente resistente al ataque químico de suelos agresivos, de aguas conducidas, y en general de ácidos, álcalis y soluciones salinas. Algunos hidrocarburos afectan temporalmente sus propiedades, pero se restablecen cuando se evaporan los hidrocarburos. Además resiste el ataque de algas, hongos y bacterias por no existir en el PVC materia nutriente para su desarrollo.
- Ligereza. Es sencillo de transportar, manejar y colocar.
- Flexibilidad. Permite cierta deflexión durante su instalación.
- Resistencia a la tensión. Mejor comportamiento frente a movimientos sísmicos, cargas externas muertas y vivas, así como ante sobrepresiones momentáneas (golpe de ariete).
- Facilidad de instalación. Puede manejarse y cortarse en obra.
- No altera la calidad del agua.

Entre sus desventajas se tienen:

- Susceptibilidad a daños durante su manejo. Su resistencia puede ser afectada por raspaduras, o la caída de rocas durante la excavación o

relleno de la zanja. Es recomendable que el tubo sea reparado o reemplazado si la raspadura es mayor al 10% del espesor del tubo.

- A temperaturas menores a 0° C, el PVC reduce su resistencia al impacto.
- A temperaturas mayores a 25° C, se debe reducir la presión de trabajo.
- La exposición prolongada a los rayos solares reduce su resistencia mecánica.

2.18.2 Tuberías de polietileno

Los tubos de polietileno (*PE*), serie métrica, se fabrican de acuerdo a las especificaciones contenidas en la Norma Mexicana NMX-E-144 vigente, en color negro, cilíndricos y sin costura. Pueden utilizarse en la conducción de agua potable, agua para riego y residuos industriales a presiones y temperaturas variables.

Se clasifican de acuerdo a la densidad de la materia prima en tres tipos:

- Tipo I Tubos de polietileno de baja densidad (PEBD) (0.91 a 0.925 g/cm³) con un esfuerzo de diseño de 2.45 MPa (25 kg/cm²).
- Tipo II Tubos de polietileno de media densidad (PEMD) (0.926 a 0.940 g/cm³) con un esfuerzo de diseño de 3.13 Mpa (32 kg/cm²).
- Tipo III Tubos de polietileno de alta densidad (PEAD) (mayor o igual a 0.941 g/cm³) con un esfuerzo de diseño de 4.90 Mpa (50 kg/cm²) y por su presión máxima de trabajo en cinco clases.

Y por su presión máxima de trabajo en cinco clases

| Clase | Presiones máximas de trabajo | |
|-------|------------------------------|---------------------|
| | Mpa | Kgf/cm ² |
| 2.5 | 0.25 | 2.5 |
| 4 | 0.39 | 4 |
| 6 | 0.59 | 6 |
| 8 | 0.78 | 8 |
| 10 | 0.98 | 10 |

Tabla 2.18.2.1

El diámetro nominal de los tubos de polietileno es el diámetro exterior, del cual se dispone desde 12 mm hasta 1000 mm (12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 75, 90, 110, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 560, 630, 710, 900 y 1000 mm). Los espesores de pared del tubo varían en función del tipo (densidad) y la clase (resistencia) del tubo.

Los tubos de polietileno se surten en rollos para diámetros hasta de 75 mm, y en tramos para diámetros mayores. La longitud útil de rollos o tramos se establece de común acuerdo entre fabricante y comprador.

Los tubos de polietileno cuentan con las mismas ventajas que el PVC: hermeticidad, alta capacidad de conducción, inmunidad a la corrosión, resistencia química, ligereza, flexibilidad, facilidad de instalación, y no alteran la calidad del agua. Además tiene otras ventajas como son:

- Termofusión. Las uniones se logran aplicando calor y uniendo las piezas con herramientas específicas, pero fáciles de utilizar (figura 2.8). Este procedimiento se detalla en los manuales e instructivos del fabricante. De esta forma no se requieren piezas especiales de hierro fundido, ya que en su lugar se utilizan conexiones especiales de polietileno unidas por termofusión.



Figura 2.18.2.1

- **Economía.** Las excavaciones en zanjas son más reducidas en comparación con otros tipos de tuberías, por lo cual se tienen menores costos en zanjados y rellenos. Debido a la integración de la tubería y sus conexiones, así como a la sujeción brindada por los adaptadores bridados, pueden eliminarse los atraques.
- **Compresibilidad.** Para diámetros hasta de 100 mm no se requieren válvulas de seccionamiento, ya que con este tipo de tubería se construye la caja de operación de válvulas (más reducida), pero no se colocan válvulas. En su lugar se utiliza una prensa portátil que al ejercer presión en la tubería corta el flujo. Para diámetros mayores a 100 mm se emplean válvulas, conectadas a la tubería mediante un adaptador bridado de polietileno.
- **Rapidez de instalación.** Por su presentación en rollos (diámetros menores a 75 mm), requiere sólo una unión en tramos largos con lo cual se agiliza su instalación.
- **Compatibilidad.** Existen adaptadores especiales para cada tipo de unión (brida, rosca interna o externa, soldadura o compresión) y materiales a los que se une (PVC, cobre, FC, o acero).
- **Durabilidad.** Con mantenimiento nulo, tiene una vida útil de 50 años, y 15 años de resistencia a la intemperie.

Entre sus desventajas se tienen:

- Mayor costo que las tuberías de otros materiales.

2.18.3 Tuberías de fibrocemento

Las tuberías de fibrocemento (FC) se fabrican con cemento, fibras de asbesto y sílice. Según las especificaciones señaladas en la Norma Mexicana NMX-C-012 vigente. De esta forma, se dispone de tubos de cuatro o cinco metros de longitud útil y coples de fibrocemento como sistema de unión, ambos en diámetros nominales desde 75 hasta 2,000 mm (75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 750, 900, 1000, 1050, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800,

1900 y 2000 mm). En este caso los diámetros nominales de los tubos corresponden al diámetro interior.

Los coples pueden describirse como un tubo muy corto con ambos extremos en disposición semejante a una unión campana (figura 2.9a). Los tubos son entonces de extremos espiga. Este tipo de unión es empleado comúnmente en la tubería de fibrocemento, aunque en la unión con piezas especiales de hierro fundido se utilizan juntas Gibault y otros tipos de juntas mecánicas que permiten unir tuberías de extremos lisos.

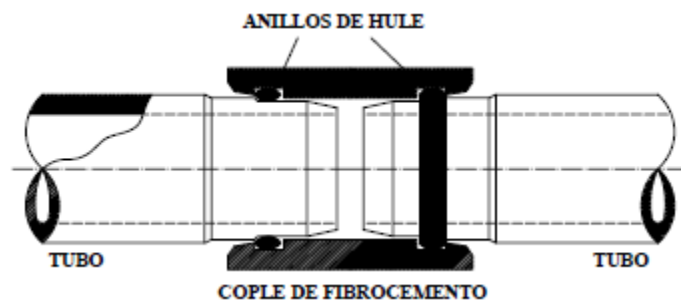


Figura 2.18.3.1 Unión por medio de coples de fibrocemento

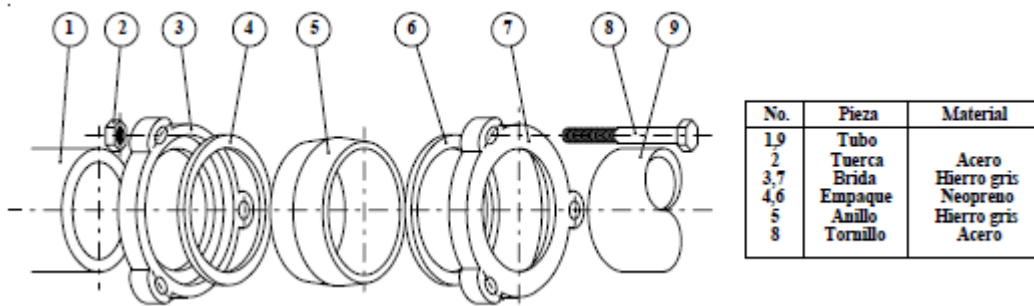


Figura 2.18.3.2 Piezas que conforman una junta Gibault

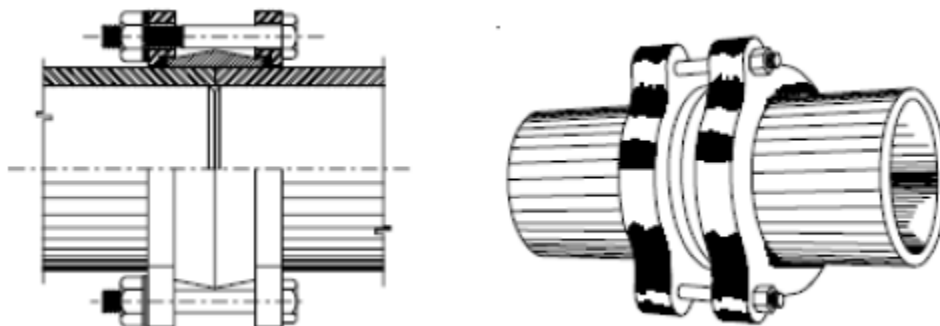


Figura 2.18.3.3 Corte de una junta Gibault armada

Los tubos de fibrocemento se clasifican en cinco clases, dependiendo de la presión de trabajo:

| Clase | Presiones máximas de trabajo | |
|-------|------------------------------|---------------------|
| | MPa | Kgf/cm ² |
| A-5 | 0.5 | 5 |
| A-7 | 0.7 | 7 |
| A-10 | 1 | 10 |
| A-14 | 1.4 | 14 |
| A-20 | 2 | 20 |

Tabla 2.18.3.1

Se pueden fabricar tubos y coples de fibrocemento en clases intermedias a las básicas, lo cual debe especificarse al hacer el contrato entre fabricante y comprador.

Adicionalmente, los tubos de fibrocemento se clasifican en dos tipos de acuerdo a su alcalinidad:

- Tipo I Tubos con contenidos de hidróxido de calcio mayores al 1.0%.
- Tipo II Tubos con contenidos de hidróxido de calcio menores al 1.0%.

La selección de la tubería de fibrocemento, de acuerdo a su tipo, dependerá de la agresividad del agua (interna y externa a la tubería), así como de la presencia de sulfatos. Los tubos tipo II son más resistentes a la agresividad del agua y a los sulfatos.

Entre las ventajas de los tubos de fibrocemento se encuentran:

- Ligereza.
- Generalmente no se corroe.
- Inmunidad a la corrosión electroquímica y a la tuberculización.
- Alta capacidad de conducción, es decir, bajo coeficiente de fricción.

Y entre sus desventajas:

- Fragilidad. Se requieren cuidados adicionales durante el transporte e instalación de tuberías, así como durante la etapa de conexiones domiciliarias.
- Número de coples. A menor longitud de tubo se requiere mayor número de coples.
- En caso de requerir el perforado o cortado en obra, se recomienda el uso de mascarillas protectoras para evitar la inhalación del polvo.

2.18.4 Tuberías de hierro fundido

El hierro fundido (HF) o colado ha sido empleado para fabricar tuberías, piezas especiales y válvulas. En México, debido a los menores costos de otros tipos de tuberías los tubos de hierro fundido han sido desplazados en la construcción de redes de distribución. Sin embargo, aún se utilizan en estaciones de bombeo e instalaciones donde se requiere rigidez y resistencia al impacto y a la corrosión. El hierro fundido se emplea aún en la fabricación de piezas especiales y válvulas, las cuales pueden ser usadas en tuberías de diversos materiales.

Se dispone de dos tipos de hierro fundido: el hierro gris y el hierro dúctil. El hierro dúctil es una mejora al hierro gris, en la cual mediante un tratamiento especial se logra un metal de mayor dureza y resistencia. Para mejorar aún más su resistencia a la corrosión se le aplican diversos revestimientos; en el interior se le aplica usualmente mortero de cemento, lo cual evita la tuberculización (formaciones de óxido), y en el exterior una capa asfáltica. Aunque todavía se fabrican piezas especiales de hierro gris, están siendo desplazadas por el hierro dúctil.

Los tubos de hierro dúctil pueden ser unidos con varios tipos de juntas: bridas, mecánica, enchufe-bola o submarina, y espiga-campana con anillo de hule. Las juntas bridadas poseen dos anillos idénticos hechos del material de la tubería (bridas) y perforados para fijarse entre sí por medio de tornillos. Cada uno se fija

en cada uno de los extremos de los tubos por unir por algún método como puede ser el soldado o el roscado. Para mantener la estanquidad de la junta se coloca un anillo desellado entre ambas bridas. Las juntas bridadas son prácticas y sencillas de instalar y no requieren herramientas especiales. Se utilizan en tuberías de hierro fundido y de acero. Así mismo, existen adaptadores de este tipo de unión en tuberías plásticas.

La junta bridada es ampliamente utilizada en sistemas de tuberías expuestos (plantas de tratamiento e instalaciones de bombeo, así como instalaciones industriales) donde se requiere rigidez, resistencia, facilidad de intercambio de tubos, así como la impermeabilidad de la junta.

No se recomienda en tuberías enterradas donde la rigidez de la junta provoca que se acumulen esfuerzos en los tubos y provocan su ruptura. Tales esfuerzos pueden ser producidos por cargas estáticas o dinámicas, así como por movimientos sísmicos o asentamientos del terreno.

Las juntas mecánicas (figura 2.10b) consisten en unir un tubo con un extremo bridado (brida fija) y en disposición campana con otro tubo espiga o liso empleando una contra brida (brida móvil) y un anillo de sellado.



Figura 2.18.4.1 Unión de tipo bridada y mecánica

Cuando se requiere que la tubería soporte fuertes deflexiones, como en el tendido de tuberías en el cruce de un río, donde se permite que la tubería se deposite en el fondo ajustándose a la sección transversal del río, se utilizan las juntas enchufe-bola o submarinas.

Por último, y más comúnmente se utilizan las uniones espiga-campana ya descritas anteriormente.

Entre las ventajas del hierro dúctil se tienen:

- Larga vida útil. En Europa se tienen tuberías de hierro gris con más de doscientos años de uso, aunque en general puede considerársele una vida útil de 100 años.
- Alta resistencia mecánica. Posee alta resistencia a impactos y a las cargas normales y extraordinarias, así como a la presión interna.
- Alta resistencia a la corrosión, aunque es susceptible a la tuberculización, lo cual puede evitarse con recubrimientos especiales.
- Es prácticamente libre de mantenimiento.
- El hierro dúctil puede ser soldado en forma económica, lo cual no sucede con el hierro gris.

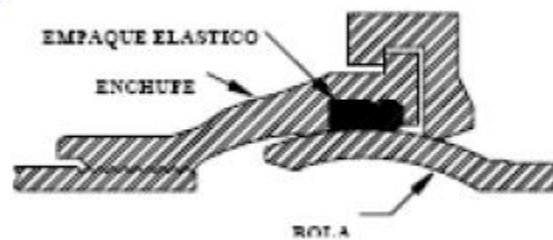


Figura 2.18.4.2 Unión enchufe-bola o submarina

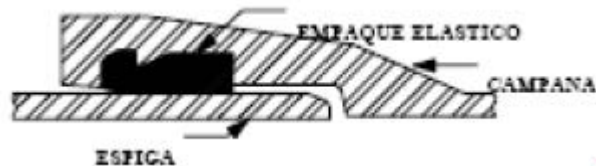


Figura 2.18.4.3 Unión espiga campana

Y entre sus desventajas:

- Puede sufrir corrosión eléctrica o química si no se protege de suelos ácidos o alcalinos, o de aguas agresivas.
- Peso relativamente alto, lo cual dificulta su manejo.
- Los tubos de hierro fundido no se fabrican en México, por lo cual deben importarse.

2.18.5 Tuberías de concreto

Las tuberías de concreto son más utilizadas en líneas de conducción que en redes de distribución, pero pueden ser utilizadas en las tuberías principales de la red primaria en el caso de redes de gran tamaño. La tubería de concreto que se utiliza en agua potable es de concreto presforzado (con o sin cilindro de acero).

Los tubos de concreto presforzado sin cilindro de acero se fabrican a partir de un tubo primario o núcleo, el cual puede o no contener acero de presfuerzo longitudinal. Una vez que el concreto ha alcanzado su resistencia a la compresión, se le enrolla el acero de presfuerzo transversal en forma helicoidal y finalmente se le reviste con concreto.

Las juntas utilizadas son espiga-campana con anillo de hule (figura 2.18.5.1), autocentrables y con flexibilidad suficiente para mantener su estanquedad bajo condiciones normales, incluyendo contracción y expansión así como asentamientos diferenciales del suelo.

Las especificaciones de fabricación de este tipo de tubos se encuentran en la Norma Mexicana NMX-C-252 vigente, donde se detalla la calidad de los materiales, la longitud útil de cada tubo (de 4 a 8 m), así como las principales características del tubo una vez terminado. En este caso se denomina diámetro del tubo al diámetro interior del mismo (de 400 a 5000 mm).

Los tubos de concreto presforzado con cilindro de acero, se diferencian de los anteriores en que su núcleo o corazón (tubo primario) es un cilindro de lámina de acero con anillos soldados a sus extremos (figura 2.11b). El cilindro de acero, una vez sometido a una presión de prueba, es ahogado en un cilindro de concreto, o se le aloja en el interior del cilindro de concreto. Así, una vez que el concreto logra su resistencia se le somete al presfuerzo transversal y se le aplica el revestimiento de mortero o concreto. Las especificaciones se concentran en la Norma Mexicana NOM-C-253 vigente.

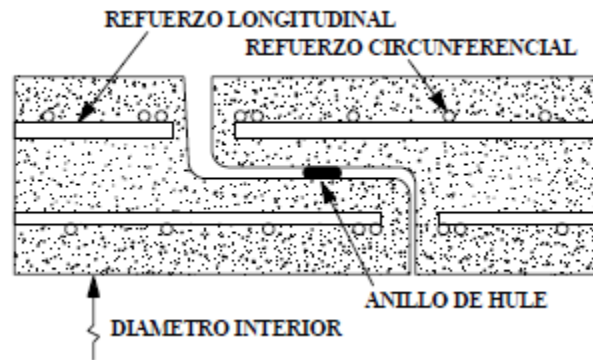


Figura 2.18.5.1 Unión espiga-campana en tuberías de concreto con cilindro de acero

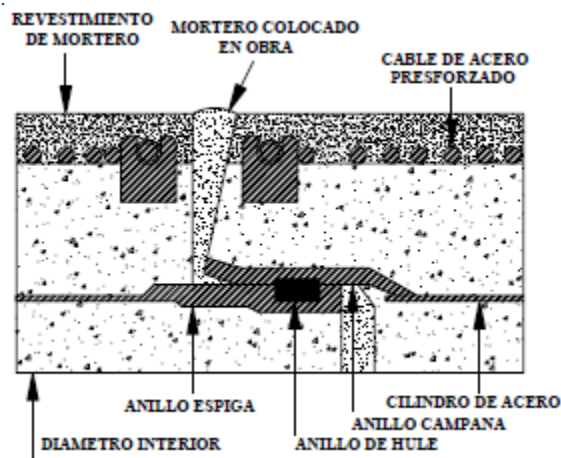


Figura 2.18.5.2 Unión espiga-campana en tuberías de concreto con cilindro de acero

Aunque en ambas normas no se detallan las dimensiones específicas de la tubería, se encontró a partir de los catálogos de algunos fabricantes que las tuberías de ambos tipos se elaboran con diámetros usuales entre 760 y 2750 mm, con longitud útil entre 4 y 8 m. También pueden fabricarse en otros tamaños (diámetro-longitud) a petición del cliente (limitados por el peso). La tubería se diseña y fabrica de acuerdo a la presión de trabajo requerida por el cliente, así como por las condiciones del proyecto.

Como ventajas de la tubería de concreto se destacan:

- Alta resistencia mecánica. Resiste especialmente cargas muertas, es decir, el relleno de la zanja, así como altas presiones.
- Alta capacidad de conducción.

- Larga vida útil.
- Bajo mantenimiento.

Y como desventajas:

- Posible corrosión cuando se encuentra en condiciones ácidas o alcalinas.
- Dificil de reparar en caso de sufrir daños.
- Puede resultar complicado realizar conexiones, aunque los fabricantes cuentan con piezas y procedimientos especiales para realizar tales derivaciones.

2.18.6 Tuberías de acero

En líneas de conducción, al igual que las tuberías de concreto, las tuberías de acero son utilizadas cuando se tienen altas presiones y se requieren grandes diámetros. La diferencia entre su uso es que las tuberías de concreto generalmente son enterradas y las tuberías de acero se pueden emplear en instalaciones expuestas, que en caso de ser enterradas son protegidas por un recubrimiento exterior. En redes de distribución se utilizan tubos de acero de diámetros pequeños (de 50.4 mm (2") hasta 152.4 mm (6")), los cuales son generalmente revestidos con zinc tanto en el interior como en el exterior, en cuyo caso se les denomina galvanizados. Si no poseen tal recubrimiento se les llama tubos negros. El uso de tuberías de acero (con excepción de las galvanizadas) obliga a su protección interior y exterior contra la corrosión.

Las tuberías de acero se fabrican de acuerdo a las Normas Mexicanas NMX-B-10 y NMX-B-177. Ambas normas se refieren a los tubos de acero con o sin costura (longitudinal o helicoidal), negros o galvanizados por inmersión en caliente para usos comunes (conducción de agua, vapor, gas o aire). Sin embargo, la NMX-B-10 trata tubos de acero al carbono en diámetros de 3.175 mm (1/8") hasta 406.4 mm (16"), y la NMX-B-177 a los tubos de acero en diámetros de 3.175 mm (1/8") hasta 660.4 mm (26").

Ambas normas clasifican a los tubos según su proceso de fabricación en tres tipos:

- "F" Soldado a tope con soldadura continua por calentamiento en horno.
- "E" Soldado por resistencia eléctrica.
- "S" Sin costura.

La norma NMX-B-177 divide a su vez a los tipos "E" y "S", de acuerdo a las propiedades mecánicas del acero, en grados "A" y "B". El grado "B" en sus dos tipos "E" y "S" posee mayor resistencia a la tensión y de fluencia.

Existe una norma adicional, la NMX-B-179 "Tubos de acero con o sin costura – series dimensionales-", la cual define las dimensiones normales en las cuales pueden fabricarse los tubos. En tal norma, se clasifican los tubos de acuerdo a su espesor de pared en tres clases denominadas: peso estándar "E", extrafuerte "XE" y doble extrafuerte "XXE". También, de acuerdo al espesor se puede obtener el número de cédula, el cual representa en cierta forma una relación entre el espesor y el diámetro de la tubería. El sistema de unión empleado en las tuberías de acero puede ser: soldadura, bridas, coples o ranuras (moldeadas o talladas) con junta mecánica.



Figura 2.18.6.1 Uniones por soldadura

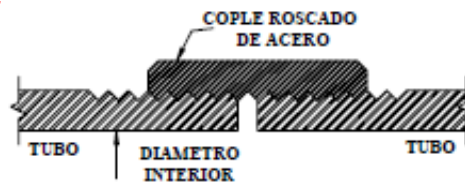


Figura 2.18.6.2 Unión de cople roscado



2.18.6.3 Unión de tuberías ranuradas con junta mecánica

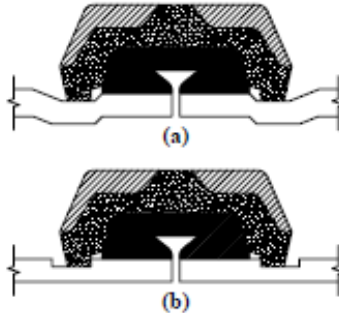


Figura 2.18.6.1 Detalle de unión de tuberías ranuradas: (a) moldeadas y (b) talladas

Las ventajas de la tubería de acero incluyen:

- Alta resistencia mecánica. Resiste cargas de impacto, es decir, aunque se abolla no se rompe (dúctil). También resiste altas presiones internas.
- En comparación con tuberías de concreto o de hierro fundido resulta más ligera.
- Fácil transporte e instalación.

Y como desventajas:

- No soporta cargas externas grandes, pues es susceptible al aplastamiento. Lo mismo puede suceder en el caso de vacíos parciales (presiones menores a la atmosférica).
- Por ser metálico presenta corrosión. Debido a su diferente composición química, la corrosión es más severa que en el hierro fundido. Esto crea altos costos de mantenimiento y reduce su vida útil, por lo cual se requieren revestimientos internos y externos para prevenirla. Las fracturas en el revestimiento deben ser reparadas rápidamente para prevenir una corrosión acelerada en tales condiciones.

3: Desarrollo del caso práctico: Diseño de la línea de conducción para agua potable

3.1 Datos de proyecto:

Población: 95000 habitantes

Dotación: 200l/hab/día

Longitud total: 3199.28m

Desnivel total: 214.03m

3.2 Antecedentes del proyecto

Actualmente la línea de conducción del punto conocido tendría al embalse de la presa San Marcos 1 se encuentra constituida por tubería de acero galvanizado en diámetros de 8, 6 y 4" así como también cajas rompedoras de presión en los puntos altos de la conducción, válvulas de desagüe y válvulas de admisión y expulsión de aire. Para este proyecto el material propuesto para la línea de conducción, es polietileno de alta densidad, ya que por sus requisitos de instalación su funcionamiento no se afectaría en casos de desastre natural.

3.3 Cálculos

3.3.1 Determinación del gasto medio diario

Utilizando la ecuación 1.11

$$Q_{\text{med}} = \frac{DP}{86400} = \frac{200\text{l/hab/día} \times 95000\text{hab}}{86400} = 219.91\text{l/s}$$

Para este proyecto la localidad seleccionada llegó a su máxima población en su centro poblacional, para proyectos nuevos es necesario utilizar métodos de proyección de población o las ecuaciones 1.8 y 1.9.

3.3.2 Determinación del gasto máximo diario y del gasto máximo horario

Mediante las ecuaciones 1.12 y 1.13.

$$Q_{Md} = CV_d \times Q_{med} = 1.40 \times 219.911/s = 307.871/s$$

$$Q_{Mh} = CV_h \times Q_{Md} = 1.55 \times 307.871/s = 477.201/s$$

3.3.3 Determinación del diámetro de la tubería

Mediante las ecuaciones 1.19 y 1.20 seleccionando el que cumpla con los límites permisibles de la tabla 3

$$D = \left(3.21 \frac{Qn}{S^{1/2}} \right)^{3/8} = \left(3.21 \frac{219.911/s \times 0.008}{(214.03/3199.28)^{1/2}} \right)^{3/8} = 0.24m$$

0.24m es el diámetro teórico por lo tanto se busca el diámetro comercial superior más próximo que en este caso sería 0.25m (10"), para este se utilizó el valor de manning para polietileno.

$$D = 1.2 \text{ o } 1.5 Q^{1/2} = 1.5 \times 0.219m^3/s^{1/2} = 0.70m$$

0.70m diámetro teórico por lo tanto se busca el diámetro comercial superior más próximo que en este caso sería 0.71m (28"), para este se utilizó el valor de 1.5 ya que es una zona urbana la que se abastece.

Ahora de la ecuación 1.1 se despeja la velocidad para saber cuál de los dos cumple con los límites permisibles

$$Q = AV \rightarrow V = \frac{Q}{A}$$

$$\text{Velocidad para el primer diámetro } V = \frac{Q}{A} = \frac{0.219m^3/s}{0.049m^2} = 4.47m/s$$

$$\text{Velocidad para el segundo diámetro } V = \frac{Q}{A} = \frac{0.219m^3/s}{0.384m^2} = 0.57m/s$$

Ambas velocidades se encuentran dentro de los límites permisibles para el tipo de material seleccionado, pero debido a que si se selecciona el diámetro de 28" este trabajaría como un canal de sección cerrada se descarta.

3.3.4 Determinación del Número de Reynolds

Mediante la ecuación 1.3

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{4.47m/s \times 0.25m}{0.000001m^2/s} = 1120000$$

3.3.5 Determinación del coeficiente f

Mediante la gráfica 1 utilizando el número de Reynolds y la relación k/D . el valor de k es igual a 0.000001524m

También utilizaremos la ecuación 1.4 para comparar que valor de f es el más aproximado a las condiciones que se presentan

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.000001524m}{3.7(0.254m)} + \frac{5.74}{1120000^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0119$$

3.3.6 Determinación de las pérdidas por fricción en la línea de conducción por tramo

Mediante la ecuación 1.5:

Perdidas por fricción para el tramo 5+260-5280

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} = 0.0115 \times \frac{21.2}{0.25} \times \frac{20.07}{19.62} = 0.94m$$

3.3.7 Determinación del gradiente de presión.

Mediante la ecuación 1.2

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_f$$

De esa ecuación se despeja P_2/γ que es el gradiente que buscamos siendo el tramo 5+260 es un tanque de almacenamiento la presión en ese punto es la atmosférica y se toma como 0, ya que la sección transversal es la misma el gradiente de velocidad es el mismo en ambas partes de la ecuación.

$$\begin{aligned} \frac{P_2}{\gamma} &= z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} - z_2 - \frac{v_2^2}{2g} - h_f \\ &= 2322.80\text{m} + 1.014\text{m} + 0 - 2320.36\text{m} - 1.014\text{m} - 0.94\text{m} = 1.50\text{m} \end{aligned}$$

En el anexo A se describe más a detalle el comportamiento de la línea de conducción por medio de la ecuación de Bernoulli para cada tramo

Como se muestra en el plano del anexo A la línea de conducción con tubería únicamente de 10" (254mm) genera demasiada pérdida de energía por lo cual el agua no sobrepasa las cumbres posteriores al descenso inicial de la línea por lo que se propone cambiar el diámetro de la tubería desde el cadenamiento 5+260 hasta el 6+840 punto donde también se encuentra la tercera válvula de desagüe, por lo tanto se calculara nuevamente desde el paso 4

$$Re = \frac{vD}{\nu} = \frac{3.10\text{m/s} \times 0.30\text{m}}{0.000001\text{m}^2/\text{s}} = 929464.87$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{0.000001524}{3.7(0.30)} + \frac{5.74}{929464.87^{0.9}}\right)\right]^2} = 0.0119$$

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} = 0.0119 \times \frac{21.2}{0.30} \times \frac{9}{19.62} = 0.94\text{m}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.219\text{m}^3/\text{s}}{0.0707\text{m}^2} = 3.10\text{m/s}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_2}{\gamma} &= z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} - z_2 - \frac{v_2^2}{2g} - h_f \\ &= 2322.80\text{m} + 0.498\text{m} + 0 - 2320.36\text{m} - 0.498\text{m} - 0.39\text{m} = 2.05\text{m} \end{aligned}$$

En el anexo B se describe el comportamiento hidráulico de la línea bajo los nuevos planteamientos y en el plano se muestra como la línea piezométrica supera los niveles de terreno sin la necesidad de equipos de bombeo.

3.3.8 Selección del espesor de la tubería

Se observa que la presión máxima dentro de la línea de conducción es de 108.01mca, lo que equivale a 10.801 kg/cm² o 153.63psi de la siguiente tabla se muestran las diferentes clases de la tubería de polietileno

| Relación de Dimensiones y Pesos De tubería | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------------|--------------|--------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|-------------|----|
| Relación RD | | | RD 7.0 | | RD 7.3 | | RD 9 | | RD 11 | | RD 13.5 | | RD 15.5 | | RD 17 | | RD 21 | | RD 26 | | RD 32.5 | | RD 41 | | | |
| Presión de Trabajo | kg/cm ² | Psi | 19 | | 18 | | 14 | | 11 | | 9 | | 8 | | 7 | | 5 | | 4 | | 3.5 | | 2.7 | | | |
| | | | 270 | | 256 | | 199 | | 157 | | 128 | | 114 | | 100 | | 71 | | 57 | | 50 | | 38 | | | |
| Diámetro Nominal (Dn)(Pulg) | Diámetro Exterior (mm) | (De) Tol +/- | Espesor (mm) | | Peso (kg/m) | | Espesor (mm) | | Peso (kg/m) | | Espesor (mm) | | Peso (kg/m) | | Espesor (mm) | | Peso (kg/m) | | Espesor (mm) | | Peso (kg/m) | | Espesor (mm) | | Peso (kg/m) | |
| | | | 1/2" | 21.3 | 0.1 | 3 | 0.17 | 2.9 | 0.17 | 2.4 | 0.14 | 1.9 | 0.12 | 1.6 | 0.1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 3/4" | 26.7 | 0.1 | 3.8 | 0.27 | 3.7 | 0.27 | 3 | 0.22 | 2.4 | 0.18 | 2 | 0.15 | 1.7 | 0.13 | 1.6 | 0.13 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1" | 33.4 | 0.1 | 4.8 | 0.43 | 4.6 | 0.42 | 3.7 | 0.34 | 3.1 | 0.29 | 2.5 | 0.24 | 2.1 | 0.21 | 2 | 0.2 | 1.6 | 0.16 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1 1/4" | 42.2 | 0.1 | 6 | 0.68 | 5.8 | 0.66 | 4.7 | 0.55 | 3.8 | 0.46 | 3.1 | 0.38 | 2.7 | 0.33 | 2.5 | 0.31 | 2 | 0.25 | 1.6 | 0.2 | -- | -- | -- | -- | -- | -- |
| 1 1/2" | 48.3 | 0.2 | 6.9 | 0.9 | 6.6 | 0.86 | 5.4 | 0.73 | 4.4 | 0.61 | 3.6 | 0.5 | 3.1 | 0.44 | 2.8 | 0.4 | 2.3 | 0.33 | 1.9 | 0.28 | 1.6 | 0.23 | -- | -- | -- | -- |
| 2" | 60.3 | 0.2 | 8.6 | 1.39 | 8.3 | 1.35 | 6.7 | 1.13 | 5.5 | 0.94 | 4.5 | 0.79 | 3.9 | 0.69 | 3.6 | 0.64 | 2.9 | 0.52 | 2.3 | 0.42 | 1.8 | 0.33 | -- | -- | -- | -- |
| 2 1/2" | 73 | 0.2 | 10.4 | 2.04 | 10 | 1.97 | 8.1 | 1.65 | 6.6 | 1.37 | 5.4 | 1.14 | 4.7 | 1.01 | 4.3 | 0.93 | 3.5 | 0.76 | 2.8 | 0.62 | 2.3 | 0.51 | -- | -- | -- | -- |
| 3" | 88.9 | 0.2 | 12.7 | 3.03 | 12.2 | 2.93 | 9.9 | 2.45 | 8.1 | 2.05 | 6.6 | 1.7 | 5.7 | 1.49 | 5.2 | 1.36 | 4.2 | 1.11 | 3.4 | 0.91 | 2.7 | 0.73 | -- | -- | -- | -- |
| 4" | 114.3 | 0.5 | 16.3 | 5.01 | 15.7 | 4.85 | 12.7 | 4.04 | 10.4 | 3.39 | 8.5 | 2.82 | 7.4 | 2.48 | 6.7 | 2.26 | 5.4 | 1.84 | 4.4 | 1.52 | 3.5 | 1.22 | 2.8 | 0.98 | -- | -- |
| 6" | 168.3 | 0.8 | 24 | 10.85 | 23.1 | 10.51 | 18.7 | 8.77 | 15.3 | 7.34 | 12.5 | 6.1 | 10.8 | 5.33 | 9.9 | 4.91 | 8 | 4.02 | 6.5 | 3.3 | 5.2 | 2.66 | 4.1 | 2.11 | -- | -- |
| 8" | 219.1 | 1 | 31.3 | 18.42 | 30 | 17.78 | 24.3 | 14.83 | 19.9 | 12.42 | 16.2 | 10.3 | 14.1 | 9.06 | 12.9 | 8.34 | 10.4 | 6.8 | 8.4 | 5.55 | 6.7 | 4.46 | 5.3 | 3.55 | -- | -- |
| 10" | 273.1 | 1.2 | 39 | 28.61 | 37.4 | 27.62 | 30.3 | 23.05 | 24.8 | 19.3 | 20.2 | 16.01 | 17.6 | 14.09 | 16.1 | 12.97 | 13 | 10.6 | 10.5 | 8.64 | 8.4 | 6.97 | 6.7 | 5.59 | -- | -- |
| 12" | 323.8 | 1.4 | 46.3 | 40.26 | 44.4 | 38.88 | 36 | 32.47 | 29.4 | 27.12 | 24 | 22.55 | 20.9 | 19.84 | 19.1 | 18.24 | 15.4 | 14.88 | 12.5 | 12.19 | 10 | 9.83 | 7.9 | 7.82 | -- | -- |
| 14" | 355.6 | 1.6 | 50.8 | 48.52 | 48.7 | 46.84 | 39.5 | 39.13 | 32.3 | 32.72 | 26.3 | 27.14 | 22.9 | 23.88 | 20.9 | 21.92 | 16.9 | 17.94 | 13.7 | 14.68 | 10.9 | 11.77 | 8.7 | 9.46 | -- | -- |
| 16" | 406.4 | 1.8 | 58.1 | 63.42 | 55.8 | 61.31 | 45.2 | 51.16 | 37 | 42.83 | 30.1 | 35.49 | 26.2 | 31.22 | 23.9 | 28.65 | 19.4 | 23.53 | 15.6 | 19.1 | 12.5 | 15.43 | 9.9 | 12.3 | -- | -- |
| 18" | 457.2 | 2.1 | 65.3 | 80.2 | 62.6 | 77.41 | 50.8 | 64.7 | 41.6 | 54.18 | 33.9 | 44.97 | 29.5 | 39.54 | 26.9 | 36.27 | 21.8 | 29.74 | 17.6 | 24.25 | 14.1 | 19.58 | 11.2 | 15.65 | -- | -- |
| 20" | 508 | 2.3 | 72.6 | 99.06 | 69.7 | 95.73 | 56.4 | 79.82 | 46.2 | 66.86 | 37.6 | 55.43 | 32.8 | 48.84 | 29.9 | 44.8 | 24.2 | 36.69 | 19.5 | 29.85 | 15.6 | 24.07 | 12.4 | 19.26 | -- | -- |
| 22" | 558.8 | 2.5 | 79.8 | 119.8 | 76.6 | 115.8 | 62.1 | 96.66 | 50.8 | 80.87 | 41.4 | 67.13 | 36 | 58.98 | 32.9 | 54.22 | 26.6 | 44.36 | 21.5 | 36.2 | 17.2 | 29.19 | 13.6 | 23.24 | -- | -- |
| 24" | 609.6 | 2.7 | 87.1 | 142.6 | 83.5 | 137.7 | 67.7 | 115 | 55.4 | 96.21 | 45.2 | 79.94 | 39.3 | 70.24 | 35.9 | 64.54 | 29 | 52.76 | 23.4 | 42.99 | 18.7 | 34.63 | 14.9 | 27.77 | -- | -- |
| 26" | 660.4 | 3 | -- | -- | -- | -- | 73.4 | 135 | 60 | 112.9 | 48.9 | 93.71 | 42.6 | 82.47 | 38.8 | 75.58 | 31.4 | 61.89 | 25.4 | 50.54 | 20.3 | 40.72 | 16.1 | 32.51 | -- | -- |
| 28" | 711.2 | 3.2 | -- | -- | -- | -- | 79 | 156.5 | 64.6 | 130.9 | 52.7 | 108.8 | 45.9 | 95.7 | 41.8 | 87.69 | 33.9 | 71.95 | 27.4 | 58.71 | 21.9 | 47.31 | 17.3 | 37.62 | -- | -- |
| 30" | 762 | 3.4 | -- | -- | -- | -- | 84.7 | 179.8 | 69.3 | 150.4 | 56.4 | 124.7 | 49.1 | 109.7 | 44.8 | 100.7 | 36.3 | 82.55 | 29.3 | 67.28 | 23.4 | 54.16 | 18.6 | 43.33 | -- | -- |
| 32" | 812.8 | 3.7 | -- | -- | -- | -- | 90.3 | 204.5 | 73.9 | 171.1 | 60.2 | 142 | 52.5 | 125.1 | 47.1 | 113 | 38.7 | 93.88 | 31.3 | 76.65 | 25 | 61.72 | 19.8 | 49.2 | -- | -- |
| 34" | 863.6 | 3.9 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 78.5 | 193.1 | 64 | 160.4 | 55.7 | 141 | 50.8 | 129.4 | 41.1 | 105.9 | 33.2 | 86.4 | 26.6 | 69.77 | 21.1 | 55.71 | -- | -- |
| 36" | 914.4 | 4.1 | -- | -- | -- | -- | -- | -- | 83.1 | 216.5 | 67.7 | 179.6 | 59 | 158.2 | 53.8 | 145.1 | 43.5 | 118.7 | 35.2 | 96.98 | 28.1 | 78.05 | 22.3 | 62.34 | -- | -- |

Tabla 3.1

De las cuales se selecciona la clase 11 (RD) que soporta una presión máxima de 11 kg/cm² o 157psi

3.3.9 Determinación de las válvulas de admisión y expulsión de aire y de desagüe

De acuerdo con las recomendaciones descritas en el apartado 2.11 las válvulas de admisión y expulsión de aire se ubicaran en los tramos 6+080, 6+580, 7+020,

7+400 y 7+920 y las válvulas de desagüe se colocaran en los tramos 5+680, 6-320, 6+880 y 7+720.

Se inicia determinando el flujo de aire contenido dentro del gasto conducido, con las ecuaciones 1.13 y 1.14.

$$A) PCAS = \frac{Q}{28.32} = \frac{219.91}{28.32} = 7.76 ft^3/s$$

$$B) PCAS = 0.08665\sqrt{PD^5} = 0.08665\sqrt{0.0742 \times 8^5} = 4.27 ft^3/s$$

Para el flujo de aire en el inciso A la presión es de 7.76ft³/s por lo que en gráfica coincide con un diámetro de 3" y para el inciso B es de 4,27 el diámetro que marcan en la gráfica es 2", por lo que acorde a las recomendaciones en el tema 2.14 tomaremos el diámetro mayor.

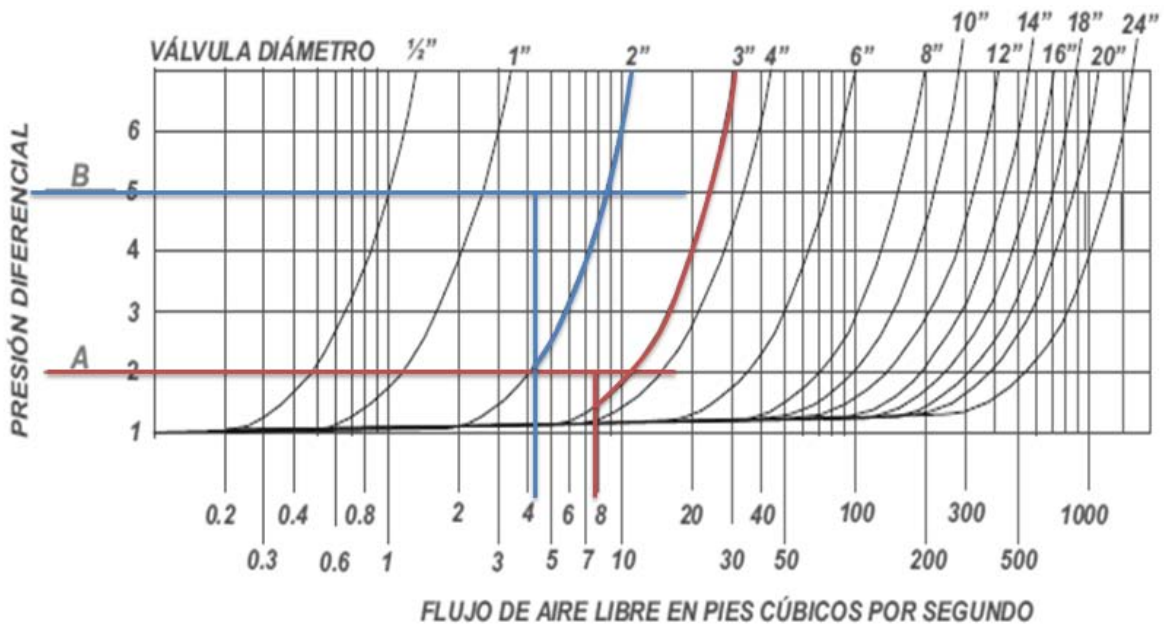


Figura 3.2

Calculando el gasto de llenado y de vaciado para cada tramo:

$$\text{Para } 12'' \quad Q = \Delta h \frac{gA}{a} = 110.38m \left(\frac{9.81m/s^2 \times 0.070m^2}{1000m/s} \right) = 0.077m^3/s = 77lps$$

$$\text{Para } 10'' \quad Q = \Delta h \frac{gA}{a} = 110.38m \left(\frac{9.81m/s^2 \times 0.049m^2}{1000m/s} \right) = 0.052m^3/s = 53lps$$

Ahora determinaremos con los gastos anteriores el diámetro para las válvulas de vaciado en cada tramo con la ecuación 1.1

$$Q = AV$$

Despejando y proponiendo una velocidad de 4m/s para el desalojo del líquido de la tubería obtendremos la siguiente expresión:

$$A_{12''} = \frac{Q}{V} = \frac{0.077m^3/S}{4m/s} = 0.019m^2$$

$$A_{10''} = \frac{Q}{V} = \frac{0.053m^3/S}{4m/s} = 0.016m^2$$

Ahora de la fórmula para determinar el área de un círculo despejaremos el diámetro:

$$d_{12''} = \sqrt{\frac{A4}{\pi}} = \sqrt{\frac{(0.019)4}{\pi}} = 0.16m \approx 6.3'' \therefore 6''$$

$$d_{10''} = \sqrt{\frac{A4}{\pi}} = \sqrt{\frac{(0.016)4}{\pi}} = 0.13m \approx 5.1'' \therefore 6''$$

Ambos diámetros son grandes para el desalojo de líquido lo que ocasionaría que se presentaran depresiones en la tubería, lo que provocaría el colapso de la misma, por lo que ahora se determinara en función del volumen de los tramos largos de cada diámetro, considerando un tiempo de una hora.

Para la tubería de 12"

$$Q_{12''} = \frac{v}{t} = \frac{45.59m^3}{3600} = 0.013m^3/s$$

El tramo comprendido para el cálculo es de 5+260 hasta 5+900 con una velocidad de 4m/s determinaremos el área para posteriormente obtener el diámetro.

$$Q = AV \rightarrow A_{12''} = \frac{Q}{V} = \frac{0.013}{4} = 0.00325m^2$$

$$d_{12''} = \sqrt{\frac{A4}{\pi}} = \sqrt{\frac{(0.00325)4}{\pi}} = 0.064m \approx 2.5'' \therefore 3''$$

Para la tubería de 10"

$$Q_{10''} = \frac{v}{t} = \frac{23.81m^3}{3600} = 0.007m^3/s$$

El tramo comprendido para el cálculo es de 6+840 hasta 7+320 con una velocidad de 4m/s determinaremos el área para posteriormente obtener el diámetro.

$$Q = AV \rightarrow A_{10''} = \frac{Q}{V} = \frac{0.007}{4} = 0.00175m^2$$

$$d_{10''} = \sqrt{\frac{A4}{\pi}} = \sqrt{\frac{(0.00175)4}{\pi}} = 0.047m \approx 1.9'' \therefore 2''$$

3.3.10 Cálculo del costo de la línea de conducción

| Concepto | Diámetro 10" | | Clase 11 | | Diámetro 12" | | Clase 11 | |
|-------------------------------------|--------------|----------------|----------|----------------|--------------|----------------|----------|----------------|
| | Cantidad | Unidad | P.U.(\$) | Importe | Cantidad | Unidad | P.U.(\$) | Importe |
| Excav. Mat. Tipo 1 | | | | | | | | |
| Excav. Mat. Tipo 2 | 1829.92 | m ³ | 224.33 | \$ 410,507.48 | 1520.19 | m ³ | 224.33 | \$ 316,665.35 |
| Excav. Mat. Tipo 3 | | | | | | | | |
| Plantilla apisonada | 140.76 | m ³ | 513.15 | \$ 180,582.10 | 108.585 | m ³ | 513.15 | \$ 139,300.98 |
| Inst. punteo y prueba de la tubería | | | | | | | | |
| Relleno compactado | 1609.91 | m ³ | 102.98 | \$ 144,045.00 | 1332.27 | m ³ | 102.98 | \$ 109,242.06 |
| Relleno a volteo | | | | | | | | |
| Atrache para la tubería | 4 | pza. | 5500 | \$ 22,000.00 | 5 | pza. | 5500 | \$ 27,500.00 |
| Costo de tubería | 1564.04 | m | 278.36 | \$ 435,366.17 | 1085.85 | m | 414.38 | \$ 449,954.52 |
| Acarreos de tubería | 78 | m/e | 28.33 | \$ 2,209.74 | 55 | m/e | 28.33 | \$ 1,558.15 |
| Flete 12% | 1564.04 | m | | \$ 52,243.94 | 1085.85 | m | | \$ 53,994.54 |
| Costo parcial de la conducción | | | | \$1,246,954.43 | | | | \$1,098,215.61 |
| Costo total de la conducción | | | | | | | | \$2,3451,70.04 |

Anexos A: Cálculos para línea de conducción de 10” (254mm)

| Tubería de polietileno | constantes | γ | 1 | T/m ³ | peso específico | | | | | | | | |
|------------------------|--------------------|-------------|-------------|----------------------------------|-----------------------|-----------|----------------------|-----------------------|------------------|-----------------|-------|---|------|
| | | g | 9.81 | m/s ² | acel. Gravedad | | | | | | | | |
| | | Q | 0.219 | m ³ /s | gasto | | | | | | | | |
| | | v | 0.000001 | m ² /s | viscosidad | | | | | | | | |
| | | k | 0.000001524 | m | polietileno | | | | | | | | |
| Diámetro | D ₁ (m) | 0.30 | Área | A ₁ (m ²) | 0.0707 | Velocidad | V ₁ (m/s) | 3.10 | k/D ₁ | 0.000005 | | | |
| | D ₂ (m) | 0.25 | | A ₂ (m ²) | 0.0491 | | V ₂ (m/s) | 4.46 | k/D ₂ | 0.000006 | | | |
| | D ₃ (m) | 0.20 | | A ₃ (m ²) | 0.0314 | | V ₃ (m/s) | 6.97 | k/D ₃ | 0.000008 | | | |
| | D ₄ (m) | 0.15 | | A ₄ (m ²) | 0.0177 | | V ₄ (m/s) | 12.39 | k/D ₄ | 0.000010 | | | |
| estaciones | | z1 | z2 | z1(m) | v ² /2g(m) | p/γ(m) | z2(m) | v ² /2g(m) | p/γ(m) | Σh _f | Re | f | L(m) |
| 5+260 | 5+280 | 2322.80 | 2320.36 | 1.014 | 0.000 | 1.50 | 1.014 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.08 | | |
| 5+280 | 5+300 | 2320.36 | 2318.54 | 1.014 | 1.503 | 2.39 | 1.014 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.08 | | |
| 5+300 | 5+320 | 2318.54 | 2316.4 | 1.014 | 2.386 | 3.59 | 1.014 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.08 | | |
| 5+320 | 5+340 | 2316.4 | 2312.5 | 1.014 | 3.589 | 6.55 | 1.014 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.11 | | |
| 5+340 | 5+360 | 2312.5 | 2308.8 | 1.014 | 6.550 | 9.30 | 1.014 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.38 | | |
| 5+360 | 5+380 | 2308.8 | 2304.69 | 1.014 | 9.299 | 12.46 | 1.014 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.38 | | |
| 5+380 | 5+400 | 2304.69 | 2300.79 | 1.014 | 12.458 | 15.41 | 1.014 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.38 | | |
| 5+400 | 5+420 | 2300.79 | 2296.98 | 1.014 | 15.407 | 18.27 | 1.014 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.38 | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|------|------------|--------|-------|
| 5+420 | 5+440 | 2296.98 | 1.014 | 18.266 | 2292.98 | 1.014 | 21.31 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.38 |
| 5+440 | 5+460 | 2292.98 | 1.014 | 21.315 | 2289 | 1.014 | 24.34 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.38 |
| 5+460 | 5+480 | 2289 | 1.014 | 24.344 | 2285.17 | 1.014 | 27.22 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.38 |
| 5+480 | 5+500 | 2285.17 | 1.014 | 27.223 | 2281.27 | 1.014 | 30.17 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.38 |
| 5+500 | 5+520 | 2281.27 | 1.014 | 30.172 | 2276.24 | 1.014 | 34.24 | 0.96 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.62 |
| 5+520 | 5+540 | 2276.24 | 1.014 | 34.240 | 2271.12 | 1.014 | 38.40 | 0.96 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.64 |
| 5+540 | 5+560 | 2271.12 | 1.014 | 38.396 | 2266.01 | 1.014 | 42.54 | 0.96 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.64 |
| 5+560 | 5+580 | 2266.01 | 1.014 | 42.543 | 2260.89 | 1.014 | 46.70 | 0.96 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.64 |
| 5+580 | 5+600 | 2260.89 | 1.014 | 46.700 | 2255.71 | 1.014 | 50.92 | 0.96 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.66 |
| 5+600 | 5+620 | 2255.71 | 1.014 | 50.916 | 2249.06 | 1.014 | 56.58 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.08 |
| 5+620 | 5+640 | 2249.06 | 1.014 | 56.582 | 2242.42 | 1.014 | 62.24 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.08 |
| 5+640 | 5+660 | 2242.42 | 1.014 | 62.238 | 2242.42 | 1.014 | 61.30 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20 |
| 5+660 | 5+680 | 2242.42 | 1.014 | 61.305 | 2238.37 | 1.014 | 64.41 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.33 |
| 5+680 | 5+700 | 2238.37 | 1.014 | 64.406 | 2230.07 | 1.014 | 71.70 | 1.01 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.66 |
| 5+700 | 5+720 | 2230.07 | 1.014 | 71.695 | 2228.03 | 1.014 | 72.80 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.1 |
| 5+720 | 5+740 | 2228.03 | 1.014 | 72.797 | 2228.66 | 1.014 | 71.23 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.01 |
| 5+740 | 5+760 | 2228.66 | 1.014 | 71.234 | 2229.28 | 1.014 | 69.68 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.01 |
| 5+760 | 5+780 | 2229.28 | 1.014 | 69.680 | 2229.91 | 1.014 | 68.12 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.01 |
| 5+780 | 5+800 | 2229.91 | 1.014 | 68.116 | 2230.54 | 1.014 | 66.55 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.01 |
| 5+800 | 5+820 | 2230.54 | 1.014 | 66.552 | 2231.13 | 1.014 | 65.03 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.01 |
| 5+820 | 5+840 | 2231.13 | 1.014 | 65.028 | 2231.63 | 1.014 | 63.59 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.01 |
| 5+840 | 5+860 | 2231.63 | 1.014 | 63.595 | 2231.14 | 1.014 | 63.15 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.01 |
| 5+860 | 5+880 | 2231.14 | 1.014 | 63.151 | 2227.67 | 1.014 | 65.67 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.3 |
| 5+880 | 5+900 | 2227.67 | 1.014 | 65.674 | 2226.97 | 1.014 | 65.44 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.01 |
| 5+900 | 5+920 | 2226.97 | 1.014 | 65.440 | 2235.61 | 1.014 | 55.78 | 1.02 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.78 |
| 5+920 | 5+940 | 2235.61 | 1.014 | 55.783 | 2239.43 | 1.014 | 51.01 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.36 |
| 5+940 | 5+960 | 2239.43 | 1.014 | 51.013 | 2241.41 | 1.014 | 48.10 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.1 |
| 5+960 | 5+980 | 2241.41 | 1.014 | 48.095 | 2243.38 | 1.014 | 45.19 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.1 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|------|------------|--------|-------|
| 5+980 | 6+000 | 2243.38 | 1.014 | 45.187 | 2245.36 | 1.014 | 42.27 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.1 |
| 6+000 | 6+020 | 2245.36 | 1.014 | 42.269 | 2247.33 | 1.014 | 39.36 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.1 |
| 6+020 | 6+040 | 2247.33 | 1.014 | 39.361 | 2249.31 | 1.014 | 36.44 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.1 |
| 6+040 | 6+060 | 2249.31 | 1.014 | 36.443 | 2251.18 | 1.014 | 33.64 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.09 |
| 6+060 | 6+080 | 2251.18 | 1.014 | 33.636 | 2252.41 | 1.014 | 31.47 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.04 |
| 6+080 | 6+100 | 2252.41 | 1.014 | 31.470 | 2253.65 | 1.014 | 29.30 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.02 |
| 6+100 | 6+120 | 2253.65 | 1.014 | 29.296 | 2253.56 | 1.014 | 28.45 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20 |
| 6+120 | 6+140 | 2253.56 | 1.014 | 28.453 | 2252.61 | 1.014 | 28.47 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.02 |
| 6+140 | 6+160 | 2252.61 | 1.014 | 28.469 | 2251.65 | 1.014 | 28.49 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.02 |
| 6+160 | 6+180 | 2251.65 | 1.014 | 28.494 | 2250.69 | 1.014 | 28.52 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.02 |
| 6+180 | 6+200 | 2250.69 | 1.014 | 28.520 | 2249.73 | 1.014 | 28.55 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.02 |
| 6+200 | 6+220 | 2249.73 | 1.014 | 28.546 | 2248.77 | 1.014 | 28.57 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.02 |
| 6+220 | 6+240 | 2248.77 | 1.014 | 28.571 | 2247.82 | 1.014 | 28.59 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.02 |
| 6+240 | 6+260 | 2247.82 | 1.014 | 28.587 | 2246.86 | 1.014 | 28.61 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.02 |
| 6+260 | 6+280 | 2246.86 | 1.014 | 28.613 | 2244.29 | 1.014 | 30.24 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.16 |
| 6+280 | 6+300 | 2244.29 | 1.014 | 30.242 | 2228.04 | 1.014 | 45.29 | 1.20 | 1115357.84 | 0.0115 | 25.77 |
| 6+300 | 6+320 | 2228.04 | 1.014 | 45.290 | 2211.8 | 1.014 | 60.33 | 1.20 | 1115357.84 | 0.0115 | 25.77 |
| 6+320 | 6+340 | 2211.8 | 1.014 | 60.327 | 2204.57 | 1.014 | 66.56 | 0.99 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.26 |
| 6+340 | 6+360 | 2204.57 | 1.014 | 66.565 | 2211.05 | 1.014 | 59.10 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+360 | 6+380 | 2211.05 | 1.014 | 59.104 | 2217.52 | 1.014 | 51.65 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+380 | 6+400 | 2217.52 | 1.014 | 51.653 | 2224 | 1.014 | 44.19 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+400 | 6+420 | 2224 | 1.014 | 44.192 | 2230.47 | 1.014 | 36.74 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+420 | 6+440 | 2230.47 | 1.014 | 36.741 | 2236.95 | 1.014 | 29.28 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+440 | 6+460 | 2236.95 | 1.014 | 29.280 | 2243.43 | 1.014 | 21.82 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+460 | 6+480 | 2243.43 | 1.014 | 21.819 | 2249.9 | 1.014 | 14.37 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+480 | 6+500 | 2249.9 | 1.014 | 14.368 | 2256.38 | 1.014 | 6.91 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+500 | 6+520 | 2256.38 | 1.014 | 6.907 | 2262.85 | 1.014 | -0.54 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+520 | 6+540 | 2262.85 | 1.014 | -0.544 | 2269.33 | 1.014 | -8.00 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|---------|---------|-------|--------|------|------------|--------|-------|
| 6+540 | 6+560 | 2269.33 | 1.014 | -8.005 | 2275.8 | 1.014 | -15.46 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+560 | 6+580 | 2275.8 | 1.014 | -15.455 | 2280.42 | 1.014 | -21.03 | 0.96 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.53 |
| 6+580 | 6+600 | 2280.42 | 1.014 | -21.034 | 2277.47 | 1.014 | -19.03 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.22 |
| 6+600 | 6+620 | 2277.47 | 1.014 | -19.027 | 2274.53 | 1.014 | -17.03 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.22 |
| 6+620 | 6+640 | 2274.53 | 1.014 | -17.031 | 2271.58 | 1.014 | -15.02 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.22 |
| 6+640 | 6+660 | 2271.58 | 1.014 | -15.024 | 2264.2 | 1.014 | -8.64 | 0.99 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.32 |
| 6+660 | 6+680 | 2264.2 | 1.014 | -8.639 | 2255.74 | 1.014 | -1.19 | 1.01 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+680 | 6+700 | 2255.74 | 1.014 | -1.193 | 2247.28 | 1.014 | 6.25 | 1.01 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+700 | 6+720 | 2247.28 | 1.014 | 6.254 | 2238.82 | 1.014 | 13.70 | 1.01 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+720 | 6+740 | 2238.82 | 1.014 | 13.700 | 2230.36 | 1.014 | 21.15 | 1.01 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+740 | 6+760 | 2230.36 | 1.014 | 21.146 | 2221.89 | 1.014 | 28.60 | 1.01 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+760 | 6+780 | 2221.89 | 1.014 | 28.603 | 2213.43 | 1.014 | 36.05 | 1.01 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+780 | 6+800 | 2213.43 | 1.014 | 36.049 | 2204.97 | 1.014 | 43.50 | 1.01 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+800 | 6+820 | 2204.97 | 1.014 | 43.496 | 2196.51 | 1.014 | 50.94 | 1.01 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+820 | 6+840 | 2196.51 | 1.014 | 50.942 | 2191.41 | 1.014 | 55.08 | 0.96 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.64 |
| 6+840 | 6+860 | 2191.41 | 1.014 | 55.079 | 2197.52 | 1.014 | 47.99 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.91 |
| 6+860 | 6+880 | 2197.52 | 1.014 | 47.993 | 2203.63 | 1.014 | 40.91 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.91 |
| 6+880 | 6+900 | 2203.63 | 1.014 | 40.907 | 2209.73 | 1.014 | 33.83 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.91 |
| 6+900 | 6+920 | 2209.73 | 1.014 | 33.831 | 2215.84 | 1.014 | 26.75 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.91 |
| 6+920 | 6+940 | 2215.84 | 1.014 | 26.746 | 2218.36 | 1.014 | 23.28 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.16 |
| 6+940 | 6+960 | 2218.36 | 1.014 | 23.285 | 2220.04 | 1.014 | 20.67 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 6+960 | 6+980 | 2220.04 | 1.014 | 20.668 | 2221.72 | 1.014 | 18.05 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 6+980 | 7+000 | 2221.72 | 1.014 | 18.052 | 2223.41 | 1.014 | 15.42 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+000 | 7+020 | 2223.41 | 1.014 | 15.425 | 2225.09 | 1.014 | 12.81 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+020 | 7+040 | 2225.09 | 1.014 | 12.808 | 2226.77 | 1.014 | 10.19 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+040 | 7+060 | 2226.77 | 1.014 | 10.192 | 2228.45 | 1.014 | 7.58 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+060 | 7+080 | 2228.45 | 1.014 | 7.575 | 2230.13 | 1.014 | 4.96 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+080 | 7+100 | 2230.13 | 1.014 | 4.959 | 2231.81 | 1.014 | 2.34 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|---------|---------|-------|--------|------|------------|--------|-------|
| 7+100 | 7+120 | 2231.81 | 1.014 | 2.342 | 2233.49 | 1.014 | -0.27 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+120 | 7+140 | 2233.49 | 1.014 | -0.275 | 2235.73 | 1.014 | -3.45 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.12 |
| 7+140 | 7+160 | 2235.73 | 1.014 | -3.454 | 2238.21 | 1.014 | -6.87 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+160 | 7+180 | 2238.21 | 1.014 | -6.874 | 2240.69 | 1.014 | -10.29 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+180 | 7+200 | 2240.69 | 1.014 | -10.294 | 2243.17 | 1.014 | -13.71 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+200 | 7+220 | 2243.17 | 1.014 | -13.715 | 2245.64 | 1.014 | -17.12 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+220 | 7+240 | 2245.64 | 1.014 | -17.125 | 2248.12 | 1.014 | -20.55 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+240 | 7+260 | 2248.12 | 1.014 | -20.545 | 2250.6 | 1.014 | -23.97 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+260 | 7+280 | 2250.6 | 1.014 | -23.966 | 2253.08 | 1.014 | -27.39 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+280 | 7+300 | 2253.08 | 1.014 | -27.386 | 2255.56 | 1.014 | -30.81 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+300 | 7+320 | 2255.56 | 1.014 | -30.806 | 2257.97 | 1.014 | -34.16 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.14 |
| 7+320 | 7+340 | 2257.97 | 1.014 | -34.156 | 2255.81 | 1.014 | -32.94 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.12 |
| 7+340 | 7+360 | 2255.81 | 1.014 | -32.935 | 2253.65 | 1.014 | -31.71 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.12 |
| 7+360 | 7+380 | 2253.65 | 1.014 | -31.714 | 2251.49 | 1.014 | -30.49 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.12 |
| 7+380 | 7+400 | 2251.49 | 1.014 | -30.493 | 2249.33 | 1.014 | -29.27 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.12 |
| 7+400 | 7+420 | 2249.33 | 1.014 | -29.272 | 2247.18 | 1.014 | -28.06 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.12 |
| 7+420 | 7+440 | 2247.18 | 1.014 | -28.061 | 2240.9 | 1.014 | -22.76 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.96 |
| 7+440 | 7+460 | 2240.9 | 1.014 | -22.759 | 2229.72 | 1.014 | -12.65 | 1.07 | 1115357.84 | 0.0115 | 22.92 |
| 7+460 | 7+480 | 2229.72 | 1.014 | -12.649 | 2218.53 | 1.014 | -2.53 | 1.07 | 1115357.84 | 0.0115 | 22.92 |
| 7+480 | 7+500 | 2218.53 | 1.014 | -2.528 | 2209.79 | 1.014 | 5.19 | 1.02 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.82 |
| 7+500 | 7+520 | 2209.79 | 1.014 | 5.194 | 2204.5 | 1.014 | 9.52 | 0.97 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.69 |
| 7+520 | 7+540 | 2204.5 | 1.014 | 9.518 | 2199.2 | 1.014 | 13.85 | 0.97 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.69 |
| 7+540 | 7+560 | 2199.2 | 1.014 | 13.852 | 2193.9 | 1.014 | 18.19 | 0.97 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.69 |
| 7+560 | 7+580 | 2193.9 | 1.014 | 18.187 | 2189.74 | 1.014 | 21.39 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.43 |
| 7+580 | 7+600 | 2189.74 | 1.014 | 21.394 | 2186.22 | 1.014 | 23.97 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.31 |
| 7+600 | 7+620 | 2186.22 | 1.014 | 23.966 | 2182.7 | 1.014 | 26.54 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.31 |
| 7+620 | 7+640 | 2182.7 | 1.014 | 26.538 | 2179.17 | 1.014 | 29.12 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.31 |
| 7+640 | 7+660 | 2179.17 | 1.014 | 29.120 | 2182.55 | 1.014 | 24.79 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.28 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|------|------------|--------|-------|
| 7+660 | 7+680 | 2182.55 | 1.014 | 24.794 | 2186.28 | 1.014 | 20.11 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.35 |
| 7+680 | 7+700 | 2186.28 | 1.014 | 20.114 | 2190.02 | 1.014 | 15.42 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.35 |
| 7+700 | 7+720 | 2190.02 | 1.014 | 15.424 | 2193.75 | 1.014 | 10.74 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.35 |
| 7+720 | 7+740 | 2193.75 | 1.014 | 10.745 | 2197.05 | 1.014 | 6.50 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.27 |
| 7+740 | 7+760 | 2197.05 | 1.014 | 6.499 | 2197.45 | 1.014 | 5.17 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20 |
| 7+760 | 7+780 | 2197.45 | 1.014 | 5.165 | 2197.84 | 1.014 | 3.84 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20 |
| 7+780 | 7+800 | 2197.84 | 1.014 | 3.842 | 2198.23 | 1.014 | 2.52 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20 |
| 7+800 | 7+820 | 2198.23 | 1.014 | 2.519 | 2198.63 | 1.014 | 1.19 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20 |
| 7+820 | 7+840 | 2198.63 | 1.014 | 1.185 | 2198.9 | 1.014 | -0.02 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20 |
| 7+840 | 7+860 | 2198.9 | 1.014 | -0.018 | 2197.12 | 1.014 | 0.83 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.08 |
| 7+860 | 7+880 | 2197.12 | 1.014 | 0.825 | 2195.37 | 1.014 | 1.64 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.08 |
| 7+880 | 7+900 | 2195.37 | 1.014 | 1.638 | 2193.71 | 1.014 | 2.36 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+900 | 7+920 | 2193.71 | 1.014 | 2.361 | 2192.04 | 1.014 | 3.09 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+920 | 7+940 | 2192.04 | 1.014 | 3.095 | 2190.38 | 1.014 | 3.82 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+940 | 7+960 | 2190.38 | 1.014 | 3.818 | 2188.71 | 1.014 | 4.55 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+960 | 7+980 | 2188.71 | 1.014 | 4.552 | 2187.05 | 1.014 | 5.27 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+980 | 8+000 | 2187.05 | 1.014 | 5.275 | 2182.24 | 1.014 | 9.13 | 0.96 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.57 |
| 8+000 | 8+020 | 2182.24 | 1.014 | 9.125 | 2172.11 | 1.014 | 18.21 | 1.05 | 1115357.84 | 0.0115 | 22.42 |
| 8+020 | 8+040 | 2172.11 | 1.014 | 18.209 | 2161.98 | 1.014 | 27.29 | 1.05 | 1115357.84 | 0.0115 | 22.42 |
| 8+040 | 8+060 | 2161.98 | 1.014 | 27.293 | 2151.85 | 1.014 | 36.38 | 1.05 | 1115357.84 | 0.0115 | 22.42 |
| 8+060 | 8+080 | 2151.85 | 1.014 | 36.376 | 2141.73 | 1.014 | 45.45 | 1.05 | 1115357.84 | 0.0115 | 22.42 |
| 8+080 | 8+100 | 2141.73 | 1.014 | 45.450 | 2131.6 | 1.014 | 54.53 | 1.05 | 1115357.84 | 0.0115 | 22.42 |
| 8+100 | 8+120 | 2131.60 | 1.014 | 54.534 | 2133.97 | 1.014 | 51.22 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.14 |
| 8+120 | 8+140 | 2133.97 | 1.014 | 51.224 | 2133.64 | 1.014 | 50.62 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20 |
| 8+140 | 8+160 | 2133.64 | 1.014 | 50.621 | 2133.31 | 1.014 | 50.02 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20 |
| 8+160 | 8+180 | 2133.31 | 1.014 | 50.017 | 2132.88 | 1.014 | 49.51 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20 |
| 8+180 | 8+200 | 2132.88 | 1.014 | 49.514 | 2130.04 | 1.014 | 51.41 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.2 |
| 8+200 | 8+220 | 2130.04 | 1.014 | 51.411 | 2127.19 | 1.014 | 53.32 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.2 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|------|------------|--------|---------|
| 8+220 | 8+240 | 2127.19 | 1.014 | 53.319 | 2126.26 | 1.014 | 53.31 | 0.93 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.02 |
| 8+240 | 8+260 | 2126.26 | 1.014 | 53.314 | 2123.74 | 1.014 | 54.89 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.16 |
| 8+260 | 8+280 | 2123.74 | 1.014 | 54.893 | 2121.22 | 1.014 | 56.47 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.16 |
| 8+280 | 8+300 | 2121.22 | 1.014 | 56.473 | 2118.69 | 1.014 | 58.06 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.16 |
| 8+300 | 8+320 | 2118.69 | 1.014 | 58.062 | 2116.17 | 1.014 | 59.64 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.16 |
| 8+320 | 8+340 | 2116.17 | 1.014 | 59.641 | 2113.64 | 1.014 | 61.23 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.19 |
| 8+340 | 8+360 | 2113.64 | 1.014 | 61.229 | 2109.97 | 1.014 | 63.96 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.16 |
| 8+360 | 8+369.11 | 2109.97 | 1.014 | 63.958 | 2111.9 | 1.014 | 61.60 | 0.43 | 1115357.84 | 0.0115 | 9.17 |
| | | | | | | | | | | Σ | 3199.28 |

Anexo B: Cálculos para la línea de conducción con 12" y 10" (304 y 254mm)

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------|----------|-------------|------------------|-----------------|-------------|------------------|--------------|-----------|---------|----------|--|
| Tubería de polietileno | constantes | γ | 1 | T/m^3 | peso específico | | | | | | | |
| | | g | 9.81 | m/s^2 | acel. Gravedad | | | | | | | |
| | | Q | 0.219 | m^3/s | gasto | | | | | | | |
| | | ν | 0.000001 | m^2/s | viscosidad | | | | | | | |
| | | k | 0.000001524 | m | polietileno | | | | | | | |
| | Diámetro | $D_1(m)$ | 0.30 | Área | $A_1(m^2)$ | 0.0707 | Velocidad | $V_1(m/s)$ | 3.10 | k/D_1 | 0.000005 | |
| | | $D_2(m)$ | 0.25 | | $A_2(m^2)$ | 0.0491 | | $V_2(m/s)$ | 4.46 | k/D_2 | 0.000006 | |
| | | $D_3(m)$ | 0.20 | | $A_3(m^2)$ | 0.0314 | | $V_3(m/s)$ | 6.97 | k/D_3 | 0.000008 | |
| | | $D_4(m)$ | 0.15 | | $A_4(m^2)$ | 0.0177 | | $V_4(m/s)$ | 12.39 | k/D_4 | 0.000010 | |
| | estaciones | | | | | | | | | | | |
| z_1 | z_2 | $z_1(m)$ | $v^2/2g(m)$ | $\rho/\gamma(m)$ | $z_2(m)$ | $v^2/2g(m)$ | $\rho/\gamma(m)$ | Σh_f | Re | f | L(m) | |
| 5+260 | 5+280 | 2322.80 | 0.489 | 0.000 | 2320.36 | 0.489 | 2.05 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.08 | |
| 5+280 | 5+300 | 2320.36 | 0.489 | 2.051 | 2318.54 | 0.489 | 3.48 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.08 | |
| 5+300 | 5+320 | 2318.54 | 0.489 | 3.482 | 2316.4 | 0.489 | 5.23 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.08 | |
| 5+320 | 5+340 | 2316.4 | 0.489 | 5.234 | 2312.5 | 0.489 | 8.74 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.11 | |
| 5+340 | 5+360 | 2312.50 | 0.489 | 8.744 | 2308.8 | 0.489 | 12.05 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.38 | |
| 5+360 | 5+380 | 2308.8 | 0.489 | 12.050 | 2304.69 | 0.489 | 15.77 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.38 | |
| 5+380 | 5+400 | 2304.69 | 0.489 | 15.765 | 2300.79 | 0.489 | 19.27 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.38 | |
| 5+400 | 5+420 | 2300.79 | 0.489 | 19.270 | 2296.98 | 0.489 | 22.69 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.38 | |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|------|-----------|--------|-------|
| 5+420 | 5+440 | 2296.98 | 0.489 | 22.686 | 2292.98 | 0.489 | 26.29 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.38 |
| 5+440 | 5+460 | 2292.98 | 0.489 | 26.291 | 2289 | 0.489 | 29.88 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.38 |
| 5+460 | 5+480 | 2289.00 | 0.489 | 29.877 | 2285.17 | 0.489 | 33.31 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.38 |
| 5+480 | 5+500 | 2285.17 | 0.489 | 33.312 | 2281.27 | 0.489 | 36.82 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.38 |
| 5+500 | 5+520 | 2281.27 | 0.489 | 36.817 | 2276.24 | 0.489 | 41.45 | 0.40 | 929464.87 | 0.0119 | 20.62 |
| 5+520 | 5+540 | 2276.24 | 0.489 | 41.448 | 2271.12 | 0.489 | 46.17 | 0.40 | 929464.87 | 0.0119 | 20.64 |
| 5+540 | 5+560 | 2271.12 | 0.489 | 46.169 | 2266.01 | 0.489 | 50.88 | 0.40 | 929464.87 | 0.0119 | 20.64 |
| 5+560 | 5+580 | 2266.01 | 0.489 | 50.879 | 2260.89 | 0.489 | 55.60 | 0.40 | 929464.87 | 0.0119 | 20.64 |
| 5+580 | 5+600 | 2260.89 | 0.489 | 55.599 | 2255.71 | 0.489 | 60.38 | 0.40 | 929464.87 | 0.0119 | 20.66 |
| 5+600 | 5+620 | 2255.71 | 0.489 | 60.379 | 2249.06 | 0.489 | 66.62 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.08 |
| 5+620 | 5+640 | 2249.06 | 0.489 | 66.621 | 2242.42 | 0.489 | 72.85 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.08 |
| 5+640 | 5+660 | 2242.42 | 0.489 | 72.853 | 2242.42 | 0.489 | 72.47 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20 |
| 5+660 | 5+680 | 2242.42 | 0.489 | 72.466 | 2238.37 | 0.489 | 76.12 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.33 |
| 5+680 | 5+700 | 2238.37 | 0.489 | 76.122 | 2230.07 | 0.489 | 84.00 | 0.42 | 929464.87 | 0.0119 | 21.66 |
| 5+700 | 5+720 | 2230.07 | 0.489 | 84.003 | 2228.03 | 0.489 | 85.65 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.1 |
| 5+720 | 5+740 | 2228.03 | 0.489 | 85.653 | 2228.66 | 0.489 | 84.64 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.01 |
| 5+740 | 5+760 | 2228.66 | 0.489 | 84.636 | 2229.28 | 0.489 | 83.63 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.01 |
| 5+760 | 5+780 | 2229.28 | 0.489 | 83.629 | 2229.91 | 0.489 | 82.61 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.01 |
| 5+780 | 5+800 | 2229.91 | 0.489 | 82.611 | 2230.54 | 0.489 | 81.59 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.01 |
| 5+800 | 5+820 | 2230.54 | 0.489 | 81.594 | 2231.13 | 0.489 | 80.62 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.01 |
| 5+820 | 5+840 | 2231.13 | 0.489 | 80.616 | 2231.63 | 0.489 | 79.73 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.01 |
| 5+840 | 5+860 | 2231.63 | 0.489 | 79.729 | 2231.14 | 0.489 | 79.83 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.01 |
| 5+860 | 5+880 | 2231.14 | 0.489 | 79.831 | 2227.67 | 0.489 | 82.91 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.3 |
| 5+880 | 5+900 | 2227.67 | 0.489 | 82.908 | 2226.97 | 0.489 | 83.22 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.01 |
| 5+900 | 5+920 | 2226.97 | 0.489 | 83.221 | 2235.61 | 0.489 | 74.16 | 0.42 | 929464.87 | 0.0119 | 21.78 |
| 5+920 | 5+940 | 2235.61 | 0.489 | 74.159 | 2239.43 | 0.489 | 69.94 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.36 |
| 5+940 | 5+960 | 2239.43 | 0.489 | 69.945 | 2241.41 | 0.489 | 67.58 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.1 |
| 5+960 | 5+980 | 2241.41 | 0.489 | 67.576 | 2243.38 | 0.489 | 65.22 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.1 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|------|------------|--------|-------|
| 5+980 | 6+000 | 2243.38 | 0.489 | 65.217 | 2245.36 | 0.489 | 62.85 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.1 |
| 6+000 | 6+020 | 2245.36 | 0.489 | 62.847 | 2247.33 | 0.489 | 60.49 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.1 |
| 6+020 | 6+040 | 2247.33 | 0.489 | 60.488 | 2249.31 | 0.489 | 58.12 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.1 |
| 6+040 | 6+060 | 2249.31 | 0.489 | 58.119 | 2251.18 | 0.489 | 55.86 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.09 |
| 6+060 | 6+080 | 2251.18 | 0.489 | 55.860 | 2252.41 | 0.489 | 54.24 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.04 |
| 6+080 | 6+100 | 2252.41 | 0.489 | 54.242 | 2253.65 | 0.489 | 52.61 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.02 |
| 6+100 | 6+120 | 2253.65 | 0.489 | 52.614 | 2253.56 | 0.489 | 52.32 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20 |
| 6+120 | 6+140 | 2253.56 | 0.489 | 52.317 | 2252.61 | 0.489 | 52.88 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.02 |
| 6+140 | 6+160 | 2252.61 | 0.489 | 52.879 | 2251.65 | 0.489 | 53.45 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.02 |
| 6+160 | 6+180 | 2251.65 | 0.489 | 53.452 | 2250.69 | 0.489 | 54.02 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.02 |
| 6+180 | 6+200 | 2250.69 | 0.489 | 54.024 | 2249.73 | 0.489 | 54.60 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.02 |
| 6+200 | 6+220 | 2249.73 | 0.489 | 54.597 | 2248.77 | 0.489 | 55.17 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.02 |
| 6+220 | 6+240 | 2248.77 | 0.489 | 55.169 | 2247.82 | 0.489 | 55.73 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.02 |
| 6+240 | 6+260 | 2247.82 | 0.489 | 55.731 | 2246.86 | 0.489 | 56.30 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.02 |
| 6+260 | 6+280 | 2246.86 | 0.489 | 56.304 | 2244.29 | 0.489 | 58.48 | 0.39 | 929464.87 | 0.0119 | 20.16 |
| 6+280 | 6+300 | 2244.29 | 0.489 | 58.483 | 2228.04 | 0.489 | 74.23 | 0.50 | 929464.87 | 0.0119 | 25.77 |
| 6+300 | 6+320 | 2228.04 | 0.489 | 74.234 | 2211.8 | 0.489 | 89.98 | 0.50 | 929464.87 | 0.0119 | 25.77 |
| 6+320 | 6+340 | 2211.8 | 0.489 | 89.975 | 2204.57 | 0.489 | 96.79 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.26 |
| 6+340 | 6+360 | 2204.57 | 0.489 | 96.794 | 2211.05 | 0.489 | 89.91 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.02 |
| 6+360 | 6+380 | 2211.05 | 0.489 | 89.907 | 2217.52 | 0.489 | 83.03 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.02 |
| 6+380 | 6+400 | 2217.52 | 0.489 | 83.030 | 2224 | 0.489 | 76.14 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.02 |
| 6+400 | 6+420 | 2224 | 0.489 | 76.143 | 2230.47 | 0.489 | 69.27 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.02 |
| 6+420 | 6+440 | 2230.47 | 0.489 | 69.266 | 2236.95 | 0.489 | 62.38 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.02 |
| 6+440 | 6+460 | 2236.95 | 0.489 | 62.379 | 2243.43 | 0.489 | 55.49 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.02 |
| 6+460 | 6+480 | 2243.43 | 0.489 | 55.492 | 2249.9 | 0.489 | 48.61 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.02 |
| 6+480 | 6+500 | 2249.9 | 0.489 | 48.615 | 2256.38 | 0.489 | 41.73 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.02 |
| 6+500 | 6+520 | 2256.38 | 0.489 | 41.728 | 2262.85 | 0.489 | 34.85 | 0.41 | 929464.87 | 0.0119 | 21.02 |
| 6+520 | 6+540 | 2262.85 | 0.489 | 34.851 | 2269.33 | 0.489 | 27.98 | 0.40 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|------|------------|--------|-------|
| 6+540 | 6+560 | 2269.33 | 0.489 | 27.975 | 2275.8 | 0.489 | 21.11 | 0.40 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.02 |
| 6+560 | 6+580 | 2275.8 | 0.489 | 21.110 | 2280.42 | 0.489 | 16.10 | 0.39 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.53 |
| 6+580 | 6+600 | 2280.42 | 0.489 | 16.104 | 2277.47 | 0.489 | 18.67 | 0.38 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.22 |
| 6+600 | 6+620 | 2277.47 | 0.489 | 18.674 | 2274.53 | 0.489 | 21.23 | 0.38 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.22 |
| 6+620 | 6+640 | 2274.53 | 0.489 | 21.233 | 2271.58 | 0.489 | 23.80 | 0.38 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.22 |
| 6+640 | 6+660 | 2271.58 | 0.489 | 23.803 | 2264.2 | 0.489 | 30.78 | 0.40 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.32 |
| 6+660 | 6+680 | 2264.20 | 0.489 | 30.782 | 2255.74 | 0.489 | 38.83 | 0.41 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+680 | 6+700 | 2255.74 | 0.489 | 38.834 | 2247.28 | 0.489 | 46.89 | 0.41 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+700 | 6+720 | 2247.28 | 0.489 | 46.885 | 2238.82 | 0.489 | 54.94 | 0.41 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+720 | 6+740 | 2238.82 | 0.489 | 54.937 | 2230.36 | 0.489 | 62.99 | 0.41 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+740 | 6+760 | 2230.36 | 0.489 | 62.988 | 2221.89 | 0.489 | 71.05 | 0.41 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+760 | 6+780 | 2221.89 | 0.489 | 71.050 | 2213.43 | 0.489 | 79.10 | 0.41 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+780 | 6+800 | 2213.43 | 0.489 | 79.101 | 2204.97 | 0.489 | 87.15 | 0.41 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+800 | 6+820 | 2204.97 | 0.489 | 87.153 | 2196.51 | 0.489 | 95.20 | 0.41 | 1115357.84 | 0.0115 | 21.72 |
| 6+820 | 6+840 | 2196.51 | 0.489 | 95.204 | 2191.41 | 0.489 | 99.92 | 0.39 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.64 |
| 6+840 | 6+860 | 2191.41 | 1.014 | 99.916 | 2197.52 | 1.014 | 92.83 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.91 |
| 6+860 | 6+880 | 2197.52 | 1.014 | 92.827 | 2203.63 | 1.014 | 85.74 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.91 |
| 6+880 | 6+900 | 2203.63 | 1.014 | 85.739 | 2209.73 | 1.014 | 78.66 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.91 |
| 6+900 | 6+920 | 2209.73 | 1.014 | 78.660 | 2215.84 | 1.014 | 71.57 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.91 |
| 6+920 | 6+940 | 2215.84 | 1.014 | 71.572 | 2218.36 | 1.014 | 68.11 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.16 |
| 6+940 | 6+960 | 2218.36 | 1.014 | 68.108 | 2220.04 | 1.014 | 65.49 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 6+960 | 6+980 | 2220.04 | 1.014 | 65.489 | 2221.72 | 1.014 | 62.87 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 6+980 | 7+000 | 2221.72 | 1.014 | 62.869 | 2223.41 | 1.014 | 60.24 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+000 | 7+020 | 2223.41 | 1.014 | 60.240 | 2225.09 | 1.014 | 57.62 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+020 | 7+040 | 2225.09 | 1.014 | 57.621 | 2226.77 | 1.014 | 55.00 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+040 | 7+060 | 2226.77 | 1.014 | 55.002 | 2228.45 | 1.014 | 52.38 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+060 | 7+080 | 2228.45 | 1.014 | 52.382 | 2230.13 | 1.014 | 49.76 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+080 | 7+100 | 2230.13 | 1.014 | 49.763 | 2231.81 | 1.014 | 47.14 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |

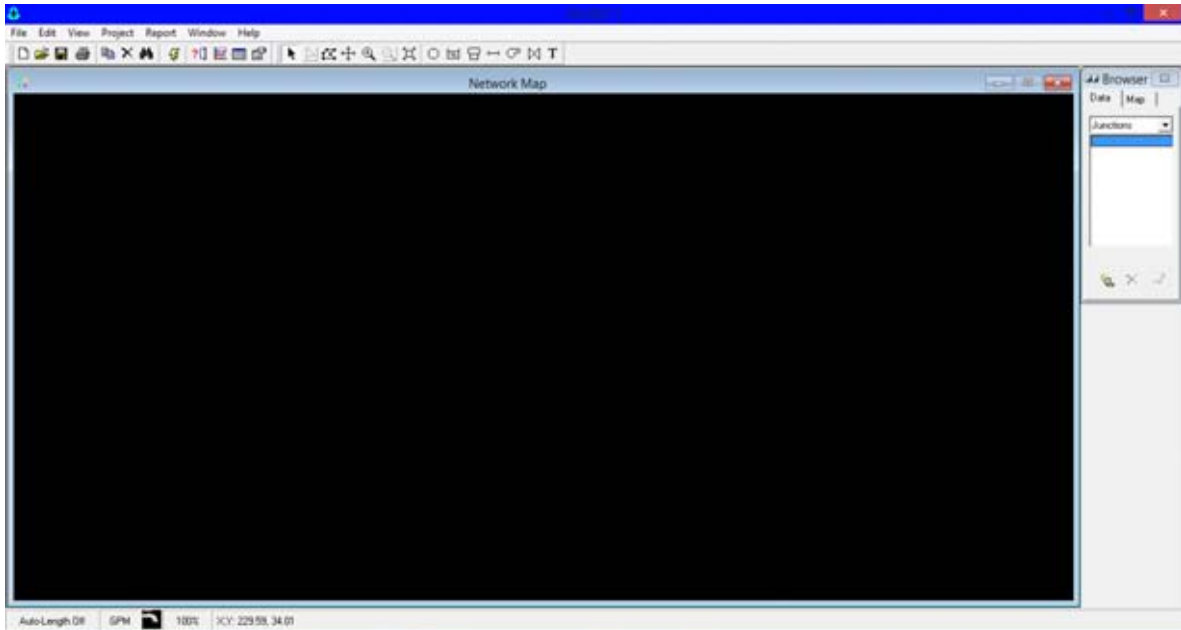
| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|------|------------|--------|-------|
| 7+100 | 7+120 | 2231.81 | 1.014 | 47.144 | 2233.49 | 1.014 | 44.52 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.07 |
| 7+120 | 7+140 | 2233.49 | 1.014 | 44.525 | 2235.73 | 1.014 | 41.34 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.12 |
| 7+140 | 7+160 | 2235.73 | 1.014 | 41.343 | 2238.21 | 1.014 | 37.92 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+160 | 7+180 | 2238.21 | 1.014 | 37.920 | 2240.69 | 1.014 | 34.50 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+180 | 7+200 | 2240.69 | 1.014 | 34.497 | 2243.17 | 1.014 | 31.07 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+200 | 7+220 | 2243.17 | 1.014 | 31.074 | 2245.64 | 1.014 | 27.66 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+220 | 7+240 | 2245.64 | 1.014 | 27.661 | 2248.12 | 1.014 | 24.24 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+240 | 7+260 | 2248.12 | 1.014 | 24.238 | 2250.6 | 1.014 | 20.81 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+260 | 7+280 | 2250.60 | 1.014 | 20.815 | 2253.08 | 1.014 | 17.39 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+280 | 7+300 | 2253.08 | 1.014 | 17.392 | 2255.56 | 1.014 | 13.97 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0115 | 20.15 |
| 7+300 | 7+320 | 2255.56 | 1.014 | 13.969 | 2257.97 | 1.014 | 10.61 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.14 |
| 7+320 | 7+340 | 2257.97 | 1.014 | 10.614 | 2255.81 | 1.014 | 11.83 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.12 |
| 7+340 | 7+360 | 2255.81 | 1.014 | 11.830 | 2253.65 | 1.014 | 13.05 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.12 |
| 7+360 | 7+380 | 2253.65 | 1.014 | 13.047 | 2251.49 | 1.014 | 14.26 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.12 |
| 7+380 | 7+400 | 2251.49 | 1.014 | 14.263 | 2249.33 | 1.014 | 15.48 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.12 |
| 7+400 | 7+420 | 2249.33 | 1.014 | 15.479 | 2247.18 | 1.014 | 16.69 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.12 |
| 7+420 | 7+440 | 2247.18 | 1.014 | 16.685 | 2240.9 | 1.014 | 21.98 | 0.98 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.96 |
| 7+440 | 7+460 | 2240.9 | 1.014 | 21.982 | 2229.72 | 1.014 | 32.09 | 1.08 | 1115357.84 | 0.0116 | 22.92 |
| 7+460 | 7+480 | 2229.72 | 1.014 | 32.087 | 2218.53 | 1.014 | 42.20 | 1.08 | 1115357.84 | 0.0116 | 22.92 |
| 7+480 | 7+500 | 2218.53 | 1.014 | 42.202 | 2209.79 | 1.014 | 49.92 | 1.02 | 1115357.84 | 0.0116 | 21.82 |
| 7+500 | 7+520 | 2209.79 | 1.014 | 49.918 | 2204.5 | 1.014 | 54.24 | 0.97 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.69 |
| 7+520 | 7+540 | 2204.5 | 1.014 | 54.238 | 2199.2 | 1.014 | 58.57 | 0.97 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.69 |
| 7+540 | 7+560 | 2199.20 | 1.014 | 58.567 | 2193.9 | 1.014 | 62.90 | 0.97 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.69 |
| 7+560 | 7+580 | 2193.9 | 1.014 | 62.897 | 2189.74 | 1.014 | 66.10 | 0.96 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.43 |
| 7+580 | 7+600 | 2189.74 | 1.014 | 66.098 | 2186.22 | 1.014 | 68.67 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.31 |
| 7+600 | 7+620 | 2186.22 | 1.014 | 68.666 | 2182.7 | 1.014 | 71.23 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.31 |
| 7+620 | 7+640 | 2182.70 | 1.014 | 71.233 | 2179.17 | 1.014 | 73.81 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.31 |
| 7+640 | 7+660 | 2179.17 | 1.014 | 73.810 | 2182.55 | 1.014 | 69.48 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.28 |

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|------|------------|--------|-------|
| 7+660 | 7+680 | 2182.55 | 1.014 | 69.479 | 2186.28 | 1.014 | 64.79 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.35 |
| 7+680 | 7+700 | 2186.28 | 1.014 | 64.794 | 2190.02 | 1.014 | 60.10 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.35 |
| 7+700 | 7+720 | 2190.02 | 1.014 | 60.100 | 2193.75 | 1.014 | 55.42 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.35 |
| 7+720 | 7+740 | 2193.75 | 1.014 | 55.415 | 2197.05 | 1.014 | 51.16 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.27 |
| 7+740 | 7+760 | 2197.05 | 1.014 | 51.164 | 2197.45 | 1.014 | 49.83 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20 |
| 7+760 | 7+780 | 2197.45 | 1.014 | 49.826 | 2197.84 | 1.014 | 48.50 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20 |
| 7+780 | 7+800 | 2197.84 | 1.014 | 48.498 | 2198.23 | 1.014 | 47.17 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20 |
| 7+800 | 7+820 | 2198.23 | 1.014 | 47.170 | 2198.63 | 1.014 | 45.83 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20 |
| 7+820 | 7+840 | 2198.63 | 1.014 | 45.832 | 2198.9 | 1.014 | 44.62 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20 |
| 7+840 | 7+860 | 2198.9 | 1.014 | 44.624 | 2197.12 | 1.014 | 45.46 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.08 |
| 7+860 | 7+880 | 2197.12 | 1.014 | 45.462 | 2195.37 | 1.014 | 46.27 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.08 |
| 7+880 | 7+900 | 2195.37 | 1.014 | 46.270 | 2193.71 | 1.014 | 46.99 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.07 |
| 7+900 | 7+920 | 2193.71 | 1.014 | 46.988 | 2192.04 | 1.014 | 47.72 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.07 |
| 7+920 | 7+940 | 2192.04 | 1.014 | 47.717 | 2190.38 | 1.014 | 48.44 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.07 |
| 7+940 | 7+960 | 2190.38 | 1.014 | 48.435 | 2188.71 | 1.014 | 49.16 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.07 |
| 7+960 | 7+980 | 2188.71 | 1.014 | 49.164 | 2187.05 | 1.014 | 49.88 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.07 |
| 7+980 | 8+000 | 2187.05 | 1.014 | 49.883 | 2182.24 | 1.014 | 53.73 | 0.96 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.57 |
| 8+000 | 8+020 | 2182.24 | 1.014 | 53.728 | 2172.11 | 1.014 | 62.81 | 1.05 | 1115357.84 | 0.0116 | 22.42 |
| 8+020 | 8+040 | 2172.11 | 1.014 | 62.806 | 2161.98 | 1.014 | 71.88 | 1.05 | 1115357.84 | 0.0116 | 22.42 |
| 8+040 | 8+060 | 2161.98 | 1.014 | 71.884 | 2151.85 | 1.014 | 80.96 | 1.05 | 1115357.84 | 0.0116 | 22.42 |
| 8+060 | 8+080 | 2151.85 | 1.014 | 80.963 | 2141.73 | 1.014 | 90.03 | 1.05 | 1115357.84 | 0.0116 | 22.42 |
| 8+080 | 8+100 | 2141.73 | 1.014 | 90.031 | 2131.6 | 1.014 | 99.11 | 1.05 | 1115357.84 | 0.0116 | 22.42 |
| 8+100 | 8+120 | 2131.60 | 1.014 | 99.109 | 2133.97 | 1.014 | 95.79 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.14 |
| 8+120 | 8+140 | 2133.97 | 1.014 | 95.795 | 2133.64 | 1.014 | 95.19 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20 |
| 8+140 | 8+160 | 2133.64 | 1.014 | 95.186 | 2133.31 | 1.014 | 94.58 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20 |
| 8+160 | 8+180 | 2133.31 | 1.014 | 94.578 | 2132.88 | 1.014 | 94.07 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20 |
| 8+180 | 8+200 | 2132.88 | 1.014 | 94.070 | 2130.04 | 1.014 | 95.96 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.2 |
| 8+200 | 8+220 | 2130.04 | 1.014 | 95.962 | 2127.19 | 1.014 | 97.86 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.2 |

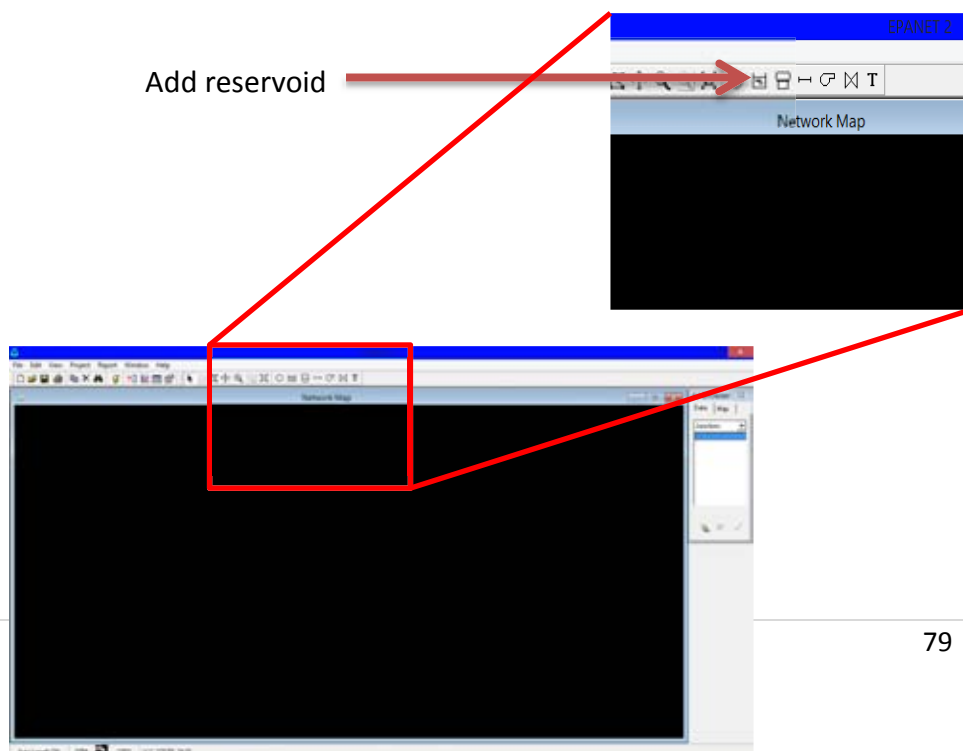
| | | | | | | | | | | | |
|-------|----------|---------|-------|---------|---------|-------|--------|------|------------|--------|---------|
| 8+220 | 8+240 | 2127.19 | 1.014 | 97.865 | 2126.26 | 1.014 | 97.86 | 0.94 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.02 |
| 8+240 | 8+260 | 2126.26 | 1.014 | 97.856 | 2123.74 | 1.014 | 99.43 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.16 |
| 8+260 | 8+280 | 2123.74 | 1.014 | 99.430 | 2121.22 | 1.014 | 101.00 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.16 |
| 8+280 | 8+300 | 2121.22 | 1.014 | 101.005 | 2118.69 | 1.014 | 102.59 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.16 |
| 8+300 | 8+320 | 2118.69 | 1.014 | 102.589 | 2116.17 | 1.014 | 104.16 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.16 |
| 8+320 | 8+340 | 2116.17 | 1.014 | 104.163 | 2113.64 | 1.014 | 105.75 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.19 |
| 8+340 | 8+360 | 2113.64 | 1.014 | 105.746 | 2111.12 | 1.014 | 107.32 | 0.95 | 1115357.84 | 0.0116 | 20.16 |
| 8+360 | 8+369.11 | 2111.12 | 1.014 | 107.320 | 2110 | 1.014 | 108.01 | 0.43 | 1115357.84 | 0.0116 | 9.17 |
| | | | | | | | | | | Σ | 3199.28 |

Anexo C: Comparación de la línea de conducción de agua mediante EPANET

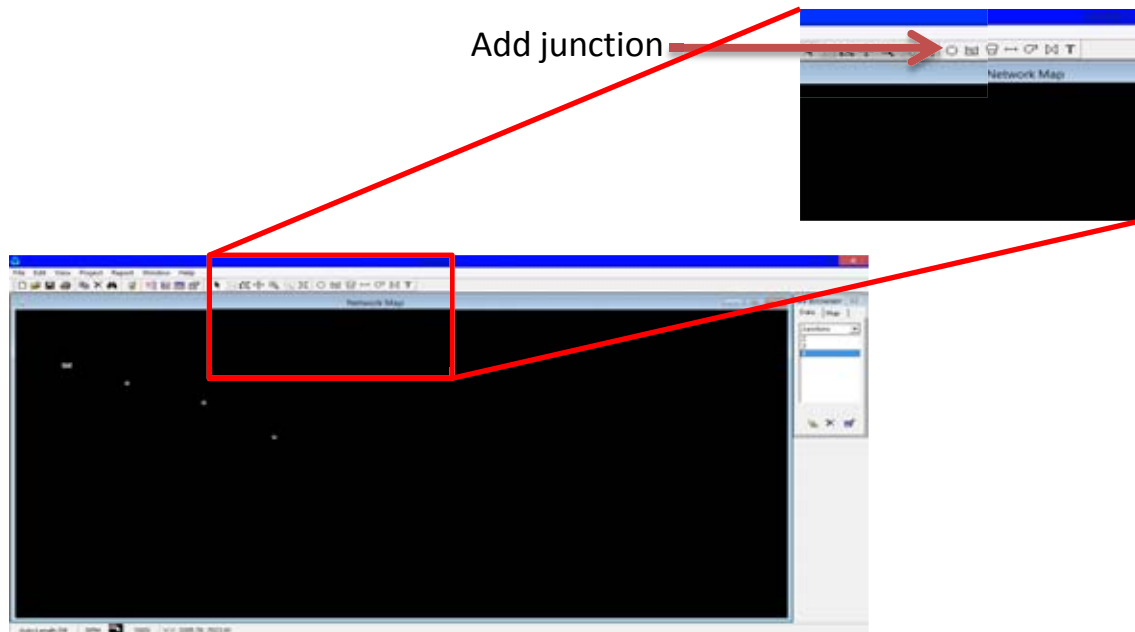
Al ejecutar EPANET tendremos una ventana como se muestra en la siguiente figura:



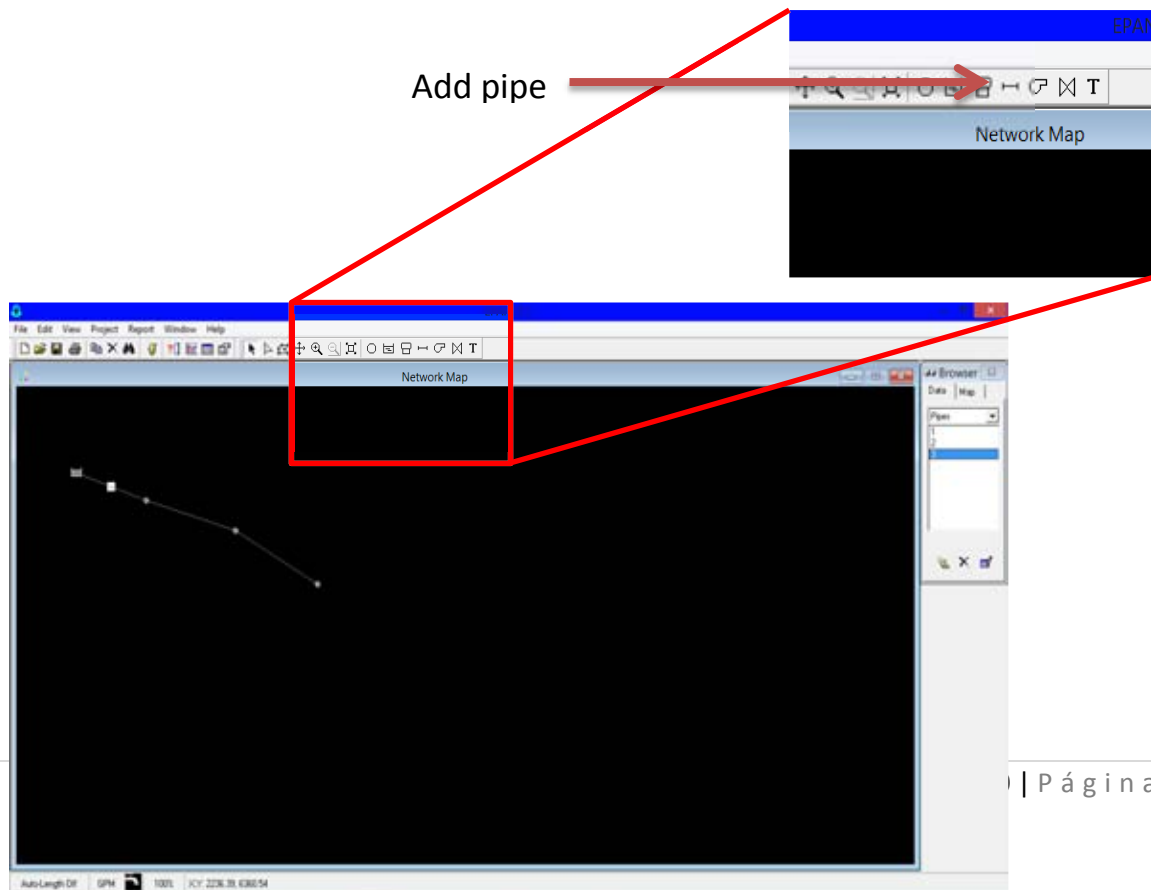
Lo primero será colocar un depósito inicial el cual en el programa buscaremos la herramienta add reservoir (añadir depósito):



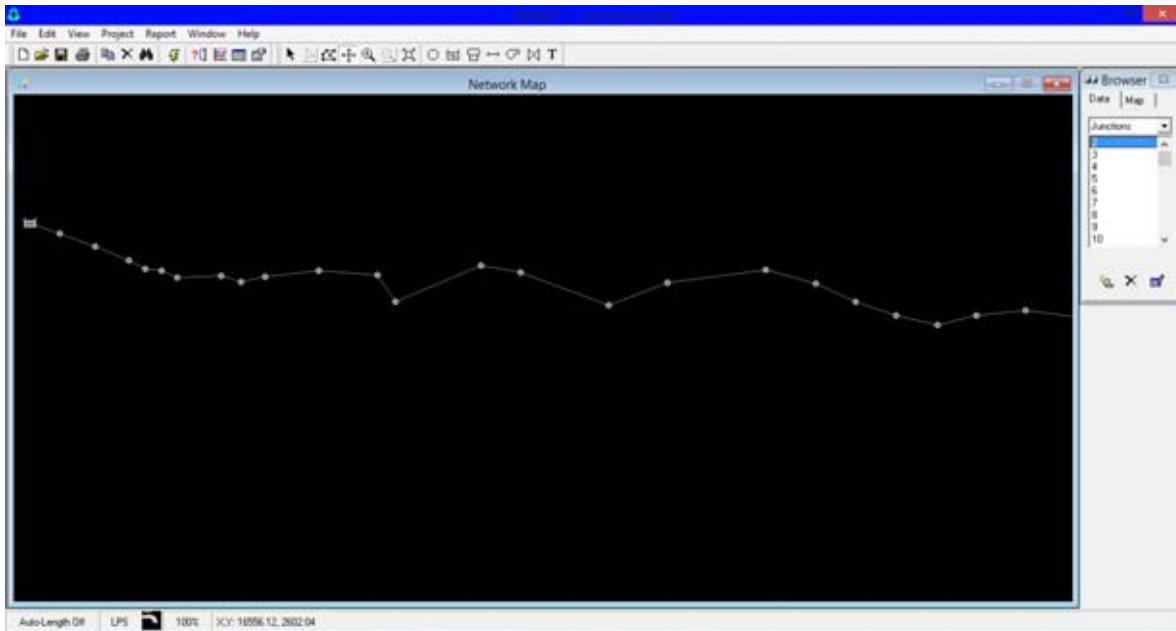
Posteriormente de colocar el depósito colocaremos cruces con la herramienta add junction (añadir cruce) que para nuestro modelo actuaran como puntos donde cambiara de dirección:



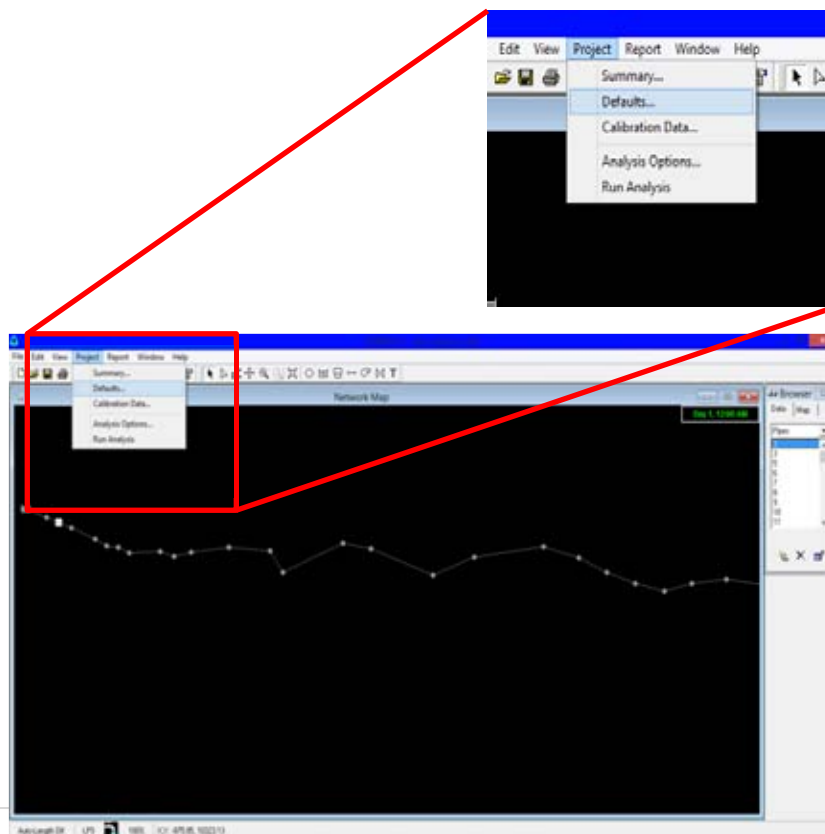
Después colocaremos las tubería mediante la herramienta add pipe (añadir tubería)



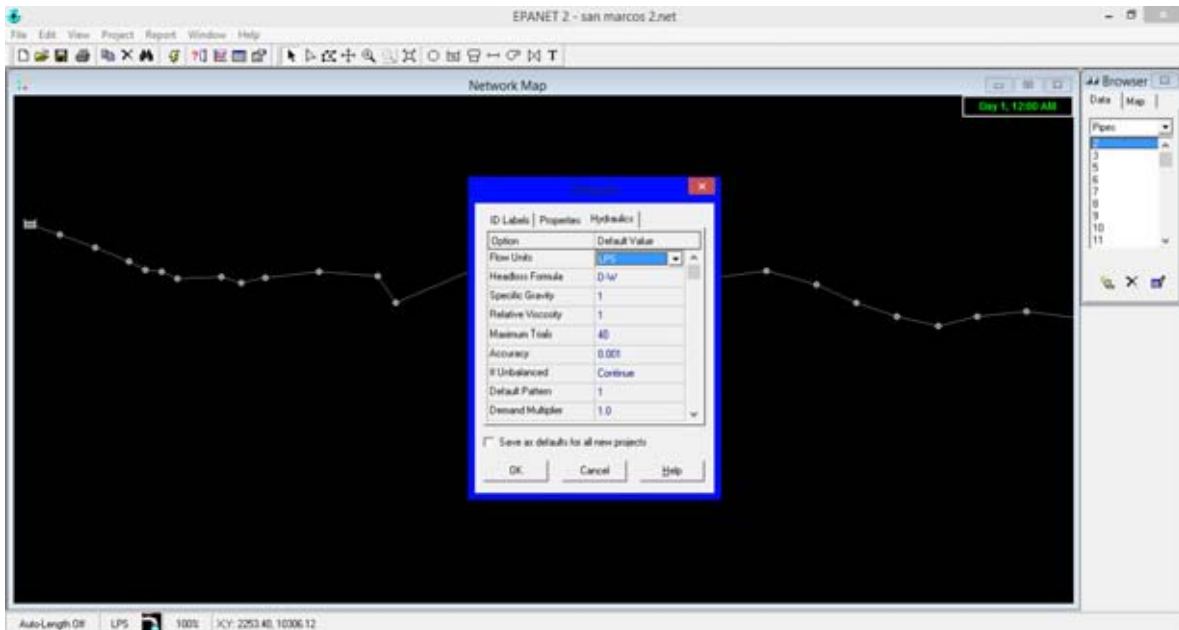
Posteriormente de tener un trazo similar al perfil de la línea de conducción como el de la figura siguiente:



Proseguiremos a asignar las unidades en las que trabajaremos en el modelo de EPANET en el menú Project (proyecto) en la opción defaults (por defecto):

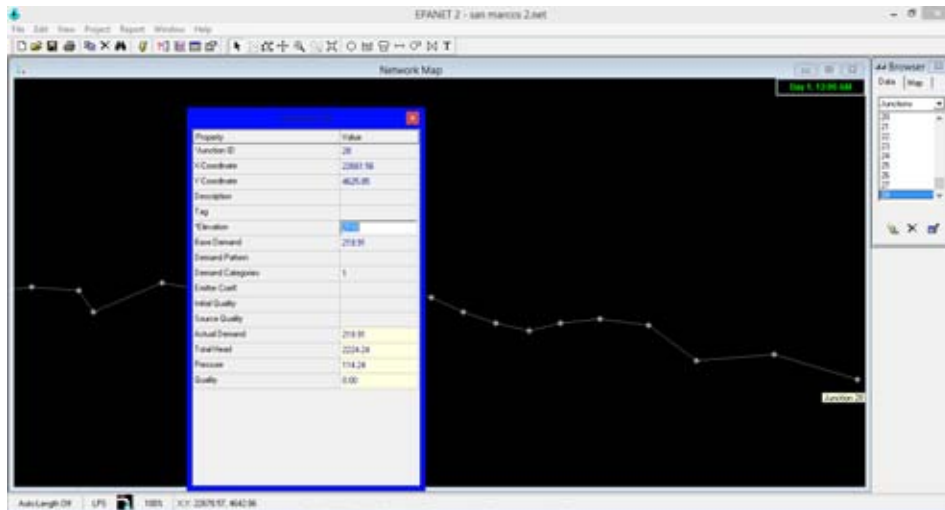


Aparecerá una ventana con tres opciones elegiremos la que dice hydraulics (hidráulica), dentro de esta opción modificaremos la que dice flow units (unidades de flujo) la cual cambiaremos a litros por segundo (LPS), también la que dice headloss formula (formula de pérdidas de carga) como en el desarrollo utilizamos la de Darcy – Weisbach (D–W).

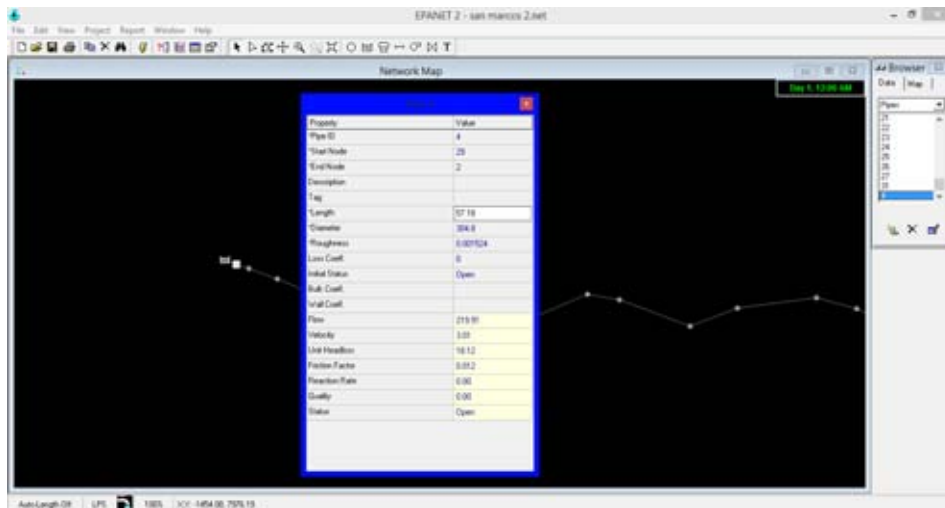


Para posteriormente dar las propiedades geométricas y mecánicas a cada tramo y crucero, en el último cruce daremos doble click y aparecerá una ventana con el nombre del crucero que en el modelo corresponde al número 28, para este crucero los únicos datos que entraremos serán elevation (elevación) y base demand (gasto), para los demás cruces el único dato que ingresaremos será la elevación, en los tramos de tubería los datos a ingresar serán length (longitud) que será en metros, diameter (diámetro) que será en milímetros y roughness (rugosidad) que será en metros, para el deposito el único dato que requiere es Total head (carga total).

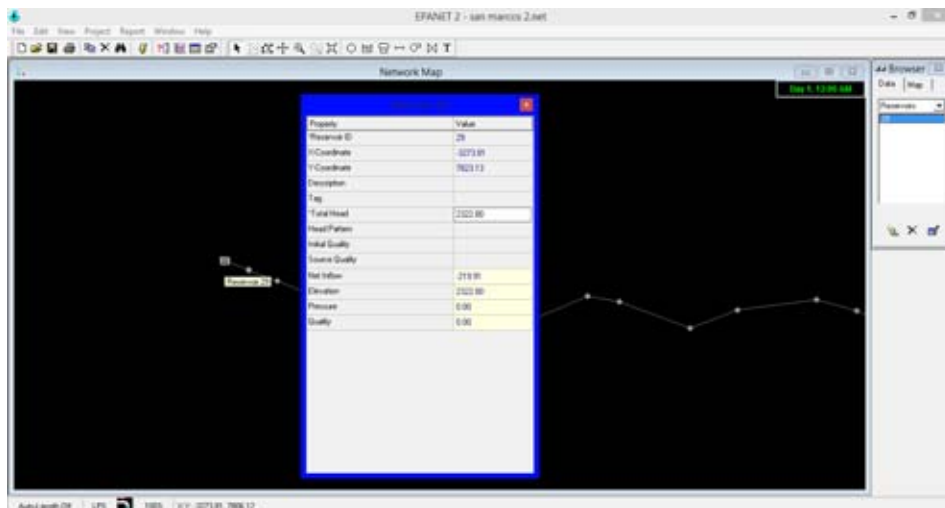
Ventana para los datos en el último cruce



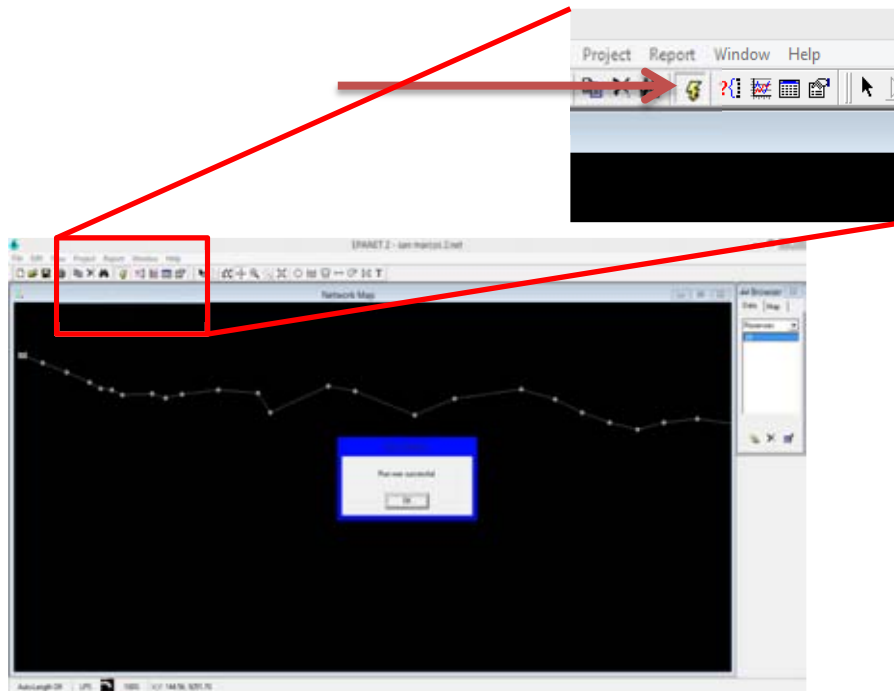
Ventana para los datos en los tramos de tubería



Ventana de datos para el depósito



Ya ingresados los datos de la línea de conducción en el modelo seleccionaremos la opción run (correr)



Entonces en la paleta browser (navegador) en la opción map (mapa) en la pestaña de nodes (nodos) seleccionaremos la opción pressure (presión) y en la de link (liga) la opción velocity (velocidad), ahora si comparamos los resultados que muestra el modelo en EPANET nos percataremos de que las presiones y las velocidades para los puntos y tramos seleccionados son aproximados a los que se muestran en el anexo B

Tabla de comparación elaborada por EPANET

| Network Table - Nodes | | | |
|-----------------------|----------------|-----------|---------------|
| Node ID | Elevation m | Head m | Pressure m |
| Resvr 29 | 2322.8 | 2322.8 | 0 |
| Junc 2 | 2317 | 2321.76 | 4.76 |
| Junc 3 | 2281 | 2318.36 | 37.36 |
| Junc 4 | 2256 | 2316.53 | 60.53 |
| Junc 5 | 2242 | 2315.73 | 73.73 |
| Junc 6 | 2242 | 2315.18 | 73.18 |
| Junc 7 | 2228 | 2314.52 | 86.52 |
| Junc 8 | 2232 | 2311.8 | 79.8 |
| Junc 9 | 2225 | 2311.06 | 86.06 |
| Junc 10 | 2238 | 2310.46 | 72.46 |
| Junc 11 | 2254.14 | 2307.15 | 53.01 |
| Junc 12 | 2246 | 2304.06 | 58.06 |
| Junc 13 | 2202 | 2302.8 | 100.8 |
| Junc 14 | 2281 | 2298.15 | 17.15 |
| Junc 15 | 2271 | 2296.91 | 25.91 |
| Junc 16 | 2190 | 2293.14 | 103.14 |
| Junc 17 | 2217 | 2289.08 | 72.08 |
| Junc 18 | 2258 | 2271.62 | 13.62 |
| Junc 19 | 2246 | 2266.71 | 20.71 |
| Junc 20 | 2212 | 2263.65 | 51.65 |
| Junc 21 | 2191.94 | 2260.22 | 68.28 |
| Junc 22 | 2179 | 2256.93 | 77.93 |
| Junc 23 | 2197 | 2252.63 | 55.63 |
| Junc 24 | 2198.83 | 2248.17 | 49.34 |
| Junc 25 | 2185.94 | 2241.41 | 55.47 |
| Junc 26 | 2131 | 2236.06 | 105.06 |
| Junc 27 | 2132.94 | 2232.64 | 99.7 |
| Junc 28 | 2110 | 2224.24 | 114.24 |

Conclusiones

Primera: se cumple el objetivo trazado en el planteamiento de este trabajo el cual era rehabilitar de forma eficiente la línea de conducción basándose en la teoría existente y a los reglamentos, ya que con la elección de los diámetros adecuados y el material la línea de conducción no requerirá costo operativo durante su vida útil, aunado a que el mantenimiento de la misma será de bajo costo y que en el caso de ocurran deslizamientos de masas de tierra ocasionados por sismo y lluvias la línea de conducción seguirá operando.

Segunda: Que sin importar la topografía del lugar de estudio, existe forma de superar la adversidad presentada contando con teoría necesaria para dar solución al problema, ya que la líneas de conducción pueden ser por gravedad, por bombeo o en algunos casos combinada.

Tercera: La selección del tipo de material para la tubería de la conducción está en función de las condiciones físicas del lugar, del criterio del proyectista y de los siniestros que puedan ocurrir a lo largo de la vida útil del proyecto.

Cuarto: El reconocimiento inmediato del origen de la falta de carga hidráulica requiere de un minucioso análisis de las variables que afectan el funcionamiento óptimo de la conducción, hasta el punto de tomar la decisión de cambiar ciertas partes para lograr el objetivo a alcanzar.

Quinta: Es el de tener en consideración que la elección del material para la conducción afecta directamente en el ámbito constructivo y financiero debido a que los diferentes materiales llevan consideraciones únicas para cada tipo y que desventajas son la que presentan ante las condiciones físicas del lugar.

Sexta: El segundo objetivo de la línea de conducción fue logrado debido a que gracias al cálculo se logra que el costo operativo de la línea de conducción sea nulo al no necesitar de ningún equipo de bombeo.

Séptima: uno de los temas para posibles líneas de investigación posteriores es el estudio a detalle de las válvulas desagüe, las cuales forman una parte importante para el mantenimiento de las líneas de conducción.

Octava: Las consideraciones que requiere la elaboración de la línea de conducción con polietileno de alta densidad son las adecuadas debido a la zona donde se encuentra en la república mexicana, al ser un terreno con poca accesibilidad y que al ocurrir algún siniestro el suministro de agua no sea afectado

Bibliografía

Hidráulica general volumen 1 Fundamentos
Gilberto Sotelo Ávila
Editorial Limusa 1997

Hidráulica de tuberías y canales
Arturo Rocha Felices

Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento “Conducción”
Comisión Nacional del Agua
Diciembre 2007

Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento “Datos básicos”
Comisión Nacional del Agua
Diciembre 2007

Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento “Redes de distribución”
Comisión Nacional del Agua
Diciembre 2007

Abastecimiento de agua
Pedro Rodríguez Ruiz
Agosto 2001

Tasco su historia, sus monumentos, características actuales y posibilidades turísticas
Manuel Toussaint
Editorial “Cvltvra”
México 1931

Enciclopedia Guerrerense.
Guerrero Cultural Siglo XXI, A.C

Diseño y operación hidráulicos de conducciones de agua a presión
Fascículo 2, llenado, vaciado y operación estacionaria de las conducciones de agua presión.
Rafael Guarga Ferro, José Luis Sánchez Bribiesca, Rafael Carmona Paredes, Lázaro Agilar Moreno
Instituto de ingeniería
Diciembre 1985