



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**“PROYECTO DEL SISTEMA DE RED DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN
LA COMUNIDAD RURAL DEL DEXTHÍ EN
EL MUNICIPIO DE IXMIQUILPAN,
ESTADO DE HIDALGO”**

TRABAJO ESCRITO
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL

PRESENTAN:
ALEJANDRO LARA HERNÁNDEZ
EDGAR MANZANO ZAVALA
ALEJANDRO PONCIANO RIVERA LÓPEZ

DIRECTOR DE TRABAJO ESCRITO:
M. en I. GABRIEL MORENO PECERO

MÉXICO, D.F.
2007





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/121/04

Señores
ALEJANDRO LARA HERNÁNDEZ
EDGAR MANZANO ZAVALA
ALEJANDRO PONCIANO RIVERA LÓPEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. GABRIEL MORENO PECERO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como trabajo escrito de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"PROYECTO DEL SISTEMA DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD RURAL DEL DEXTHÍ EN EL MUNICIPIO DE IXMIQUILPAN, ESTADO DE HIDALGO"

- INTRODUCCIÓN
- I. OBJETIVO
- II. GENERALIDADES
- III. ESTUDIOS BÁSICOS
- IV. PROYECTO
- V. EVALUACIÓN ECONÓMICA
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 20 de marzo del 2004.
EL DIRECTOR

 MTR. JOSÉ GONZALO GUERRERO ZEPEDA

GGZ/AJP*crc

AGRADECIMIENTOS

A ti Mamá, por el ejemplo de vida que siempre me has mostrado y que a pesar de todas las adversidades sigues teniendo la fuerza suficiente para mantenernos de pie. Por que tú eres el motivo y la razón. Porque eres el amor y la comprensión. Gracias María Trinidad Hernández Corona

A mis hermanos Javier, Isabel, Gonzalo, Heriberto y Jorge, porque cada uno me han brindado una parte de sí mismos y han contribuido a lo que soy ahora.

A Mary, Toli y Ruth por el cariño, apoyo y confianza que siempre me han dado.

A Jorge Alberto, Diego, Vania, David y Ángel porque encuentren su camino y logren sus objetivos.

A la familia Espinosa Coto, que me abrió la puerta y me hizo parte de ella.

A Jaime, Rogelio, Salvador, Carlos, Lázaro, Chavita por su invaluable amistad

A Agustín, Alejandro Mendieta, Alejandro Rivera, Edgar, José Luis, Julio, Moisés, Octavio, por los momentos vividos en nuestro andar por la Facultad de Ingeniería:

A Ana Lilia por el amor y apoyo incondicional.

De una manera especial quiero agradecer al M. en I. Gabriel Moreno Pecero y al Ing. Antonio Silva Madrid por el apoyo y comprensión brindada durante la realización de éste Trabajo Escrito.

Alejandro Lara Hernández.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por escuchar y cumplir mis peticiones y permitirme llegar hasta este momento con todos mis seres queridos.

Agradezco a mis padres: Pedro Manzano Suárez y Susana Zavala Contreras por todo el amor, apoyo, confianza y consejos que me han dado durante todos mis estudios y en la vida.

Así como a mis hermanos: Omar, Erika y Oscar por su amistad, compañía y ayuda.

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México, la cuál me lo dio todo.

De la manera más atenta, agradezco al M. en I. Gabriel Moreno Pecero por la guía, consejos y paciencia al llevar a cabo este trabajo escrito.

Gracias a la ayuda y consejos del M. en I. Antonio Silva Madrid para mejorar este Trabajo Escrito y a su participación en la excelente coordinación para que pudiera realizar el Servicio Social

Edgar Manzano Zavala.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no sólo es la culminación de un proyecto sino de todo un proceso educativo en el cual no solamente adquirí conocimientos técnicos también adquirí el entendimiento que me permitirá integrarme a la sociedad para buscar su mejora constante mediante mi desempeño profesional en beneficio de la sociedad.

Convencido de que la educación es el mejor medio para el desarrollo de la sociedad, los que tuvimos la oportunidad de obtener estudios profesionales tenemos la responsabilidad de que nuestro trabajo se refleje en la creación y distribución de riqueza de tal manera que cada vez más personas se puedan integrar al proceso educativo buscando la creación de un círculo virtuoso.

Le agradezco a mis padres por su apoyo incondicional, le agradezco a mi esposa el gran esfuerzo que ha hecho a mi lado para seguir adelante y le agradezco a mis hijas la gran felicidad que han traído a esta familia.

Alejandro Ponciano Rivera López

INTRODUCCIÓN.....	1
PROLOGO.....	2
I. OBJETIVOS	
I.1 Objetivo General.....	6
I.2 Objetivo Particular.....	6
II. GENERALIDADES	
II.1 Estudio Preliminar.....	8
II.1.1 Localización.....	8
II.1.2 Características políticas.....	9
II.1.3 Orografía e hidrografía.....	9
II.1.4 Clima.....	10
II.1.5 Tipo de suelos y estratigrafía.....	10
II.1.6 Comunicaciones y Transporte.....	11
II.1.7 Descripción de los servicios públicos existentes.....	13
II.1.7.1 Educación.....	13
II.1.7.2 Salud.....	13
II.1.7.3 Infraestructura Urbana.....	13
II.1.8 Aspectos Socio-Económicos de la comunidad.....	15
II.1.8.1 Actividades Económicas.....	15
II.1.8.2 Aspectos culturales.....	15
II.1.8.3 Aspectos demográficos.....	16
II.2 Estudios de Campo.....	16
II.2.1 Visitas de inspección y reconocimiento al sitio de los trabajos.....	16
II.2.2 Información topográfica.....	16
III. ESTUDIOS BÁSICOS	
III.1 Periodo de diseño.....	19
III.2 Predicción de la población.....	19
III.2.1 Población según el último censo oficial.....	19
III.2.2 Modelo aritmético.....	20
III.2.3 Modelo geométrico.....	21
III.2.4 Método de los Mínimos cuadrados.....	22
III.3 Datos Básicos.....	23
III.3.1 Dotación.....	23
III.3.2 Coeficientes de variación.....	23
III.3.3 Gasto medio diario.....	24
III.3.4 Gasto máximo diario.....	24
III.3.5 Gasto máximo horario.....	25
III.3.6 Velocidades y presiones.....	25

IV. PROYECTO

IV.1 Obra de captación	29
IV.2 Conducción	29
IV.3 Regularización.....	29
IV.4 Distribución.....	33
IV.4.1 Línea de Alimentación	33
IV.4.1.1 Diseño de cajas rompedoras de presión	34
IV.4.2 Consideraciones generales para sistemas de distribución	36
IV.4.3 Cálculo Hidráulico por el método de Hardy Cross.....	42
IV.4.4 Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal.....	46
IV.4.5 Cálculo hidráulico mediante el software de análisis para redes hidráulicas EPANET.....	50
IV.4.6 Comparación entre los métodos utilizados.....	55
IV.4.7 Planos y especificaciones constructivas	57
IV.4.7.1 Localización y detalle geométrico del tanque de Regularización	58
IV.4.7.2 Levantamiento topográfico,planta, perfil y detalles constructivos de la línea de alimentación, así como detalle de la caja de válvulas tipo 1	59
IV.4.7.3 Levantamiento topográfico, planta y detalles constructivos de la red de distribución	60
IV.5 Comentarios de diseño	61

V. EVALUACIÓN ECONÓMICA

V.1 Catálogo de conceptos y presupuesto	62
---	----

VI. CONCLUSIONES..... 66

ANEXOS

ANEXO A. Cálculo Hidráulico por el método de Hardy Cross.....	68
ANEXO B. Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal	74
ANEXO C. Cálculo hidráulico mediante el software de análisis para redes hidráulicas EPANET.....	91
ANEXO D. Archivo Fotográfico.....	94

BIBLIOGRAFÍA 98

INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional Autónoma de México con sus Escuelas, Facultades, Centros e Institutos que de ella dependen, tiene entre sus prioridades fortalecer los lazos de cooperación y apoyo con las diversas instituciones del sector público y privado, para así contribuir a dar solución a los grandes problemas nacionales, muy especialmente en aquellas poblaciones de más escasos recursos económicos de nuestro país.

La formación académica y humanista así como el espíritu crítico y creativo son la preparación que esta Universidad nos ha dado para integrarnos a la actividad profesional, adquiriendo una responsabilidad y compromiso social con las grandes necesidades y retos que tiene México.

La ingeniería tiene una ingerencia directa en la satisfacción de las necesidades prioritarias que tiene la población, siendo la Ingeniería Civil un motor en el desarrollo de infraestructura y por ende en el desarrollo social y crecimiento económico.

El ser copartícipe en la solución de tales necesidades mediante el desarrollo y ejecución del servicio social nos fomenta una conciencia social, además de la adquisición de habilidades que nos permitan incorporarnos al ámbito profesional.

A través del programa de servicio social “Programa del servicio social comunitario interdisciplinario en desarrollo rural sustentable y conservación ambiental, en el alto mezquital, Hidalgo”, 12 estudiantes de ingeniería civil y 5 de topografía participamos en tres proyectos específicos de colaboración en la comunidad rural de Dexthí, en el municipio de Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo, denominados:

- Proyecto para la construcción de un centro comunitario de desarrollo integral para las comunidades de la zona.
- Sistema de alcantarillado y saneamiento integral de la comunidad de Dexthí
- Proyecto del sistema de red de distribución de Agua Potable

Este último, es el tema de desarrollo de este trabajo escrito como forma de titulación, bajo la coordinación del director de Trabajo Escrito para examen profesional M. en I. Gabriel Moreno Pecero, contando con la colaboración del Ing. Antonio Silva Madrid y con el apoyo de la Dirección General de Orientación y Servicios Educativos (DGOSE), así como de la División de Ingeniería Civil y Geomática.

P R O L O G O

En el año 2005 el **Banco Mundial** dio a conocer los resultados de una investigación que tuvo el objetivo de determinar las **causas del aumento de la brecha existente**, en cuanto a desarrollo, **entre los países del llamado primer mundo y los de América Latina y el Caribe**, México entre ellos. El estudio determinó varias **razones** de lo investigado pero enfatizó en **una de ellas directamente relacionada con la educación y consecuentemente con la educación superior: la falta de el poseer habilidades de los profesionales, con mayor énfasis en el caso de los recién egresados**. Precisamente son estos últimos los que cada día, con mayor frecuencia, se enfrentan, al **requerimiento del sector productivo** de que cuenten con la llamada **“experiencia profesional”** que puede **considerarse como una habilidad**. Hasta ahora las **instituciones de educación superior**, en general, consideran que la adquisición de tal habilidad **no es responsabilidad directa de ellas**, ya que tradicionalmente se acepta que ella se adquiere, con mayor o menor rapidez al ejercer la profesión. Por otra parte las **características del mundo actual**, entre las que se anota la **creciente competencia profesional**, permiten avizorar que no desaparecerán o cambiarán sino que al contrario se fortalecerán al paso del tiempo y como consecuencia de ello se vislumbra que **prevalecerán aquellos profesionales “mejor preparados”** para responder con más calidad y con mayor rapidez a la satisfacción de las necesidades que surjan día a día.

El estar **“mejor preparado”** significa, según lo detectado por el Banco Mundial, el que, entre otras cosas, **tengan “habilidades”**; aparece así la necesidad de dotarlos de ellas y congruente con ello, **el que la educación superior se ocupe en forma institucional de que en la etapa de los estudios de licenciatura, los futuros profesionales adquieran “experiencia profesional”**. El **cómo lograrlo** implica **efectuar cambios y adecuaciones**, siendo definitivo el que deben **hacerse**, en el caso de América Latina y el Caribe, **con gran rapidez**; en ese contexto, en principio, es necesario analizar, organizar y llevar a cabo acciones ya presentes en la educación superior, como son las Prácticas de Campo, las Estancias Profesionales y el **Servicio Social**; en todos los casos con el enfoque y la meta anotada.

En cuanto al Servicio Social se afirma que éste debe efectuarse respondiendo con plenitud a lo indicado en su objetivo, y en ese sentido autoridades, académicos y alumnos deberán empeñarse en cumplir su papel importante y valioso. Así en la Facultad de Ingeniería de la UNAM se han generado incentivos y uno de ellos aparece desde diciembre de 1988 al ser aprobado por el Consejo Técnico, el que se pueda aceptar como alternativa de Titulación el Servicio Social. Sin embargo, ha de reconocerse que tal modalidad, en general, no se ha utilizado prevaleciendo la modalidad de titulación mediante tesis.

Los jóvenes pasantes de ingeniería civil :

Alejandro Lara Hernández

Edgar Manzano Zavala

Alejandro Ponciano Rivera López

acogiéndose a la alternativa mencionada y en cierta forma rompiendo una tradición, presentan ahora como Trabajo Escrito para Examen Profesional,

“Proyecto del sistema de red de distribución de agua potable en la comunidad rural del Dexthí en el municipio de Ixmiquilpan, estado de Hidalgo.”

y es de hacerse notar que la forma ejemplar en que llevaron a cabo su Servicio Social, bajo la coordinación del suscrito contando con la colaboración del Ing. Antonio Silva Madrid, con el apoyo de la Dirección General de Orientación y Servicios Educativos (DGOSE) y del organismo que en la Facultad de Ingeniería controla y específicamente en su División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica, hoy División de Ingeniería Civil y Geomática, **los llevó a obtener el premio “Gustavo Baz Prada” que cada año otorga la UNAM a la mejor práctica del Servicio Social.**

Pero independientemente de la justa distinción recibida los jóvenes pasantes aprendieron y/o reforzaron el:

- **Hacer propuestas técnicas y económicas a autoridades municipales y a comunidades indígenas en este caso.**
- **Aplicar los conocimientos adquiridos en el aprendizaje de la licenciatura.**
- **El integrar tales conocimientos.**
- **El trabajar en equipo inter y multidisciplinario.**
- **El reforzar la actitud de servir profesionalmente a la sociedad.**

En resumen, los ahora sustentantes, han empezado a adquirir experiencia profesional, en su etapa de estudiantes de ingeniería, hecho que por lo anotado antes resulta sumamente eficiente y eficaz.

GABRIEL MORENO PECERO
Director de trabajo escrito
para el Examen Profesional.

I. OBJETIVOS

I. OBJETIVOS

La realización del proyecto para la construcción de la red de abastecimiento de agua potable tiene como finalidad cubrir los siguientes objetivos:

I.1 Objetivo General

Diseñar el proyecto del sistema de la red de distribución de agua potable para la comunidad rural del Dexthí en el municipio de Ixmiquilpan, estado de Hidalgo, de acuerdo con los lineamientos para estudios y proyectos de la Comisión Nacional del Agua.

I.2 Objetivos Particulares

- La aplicación e integración de los conocimientos adquiridos en la carrera de Ingeniero Civil así como desarrollar la habilidad de trabajar en equipos inter y multidisciplinares.
- La aplicación de tales conocimientos en beneficio de la población rural.
- Diseñar un sistema de distribución óptimo, maximizando los beneficios a la comunidad en base a un costo mínimo.

II. GENERALIDADES

II. GENERALIDADES

II.1 Estudio preliminar

II.1.1 Localización

El poblado del Dexthí San Juanico, se encuentra al norte del municipio de Ixmiquilpan, en el Alto Mezquital, conformando una micro-cuenca de cerca de 3,025 hectáreas, que se caracteriza por presentar áreas de planicies, mesetas y laderas pronunciadas.

Las coordenadas geográficas extremas de la comunidad del Dexthi San Juanico son las siguientes; al norte $20^{\circ} 25'$ y al oeste $99^{\circ} 14'$, y a una altura de 1860 m.s.n.m. Esta comunidad pertenece al Municipio de Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo.

La comunidad del Dexthi San Juanico colinda al Norte con la comunidad del Naxtey, al Este con la comunidad de Orizabita, al Oeste con Puerto Dexthi y al Sur con la comunidad de La Palma.

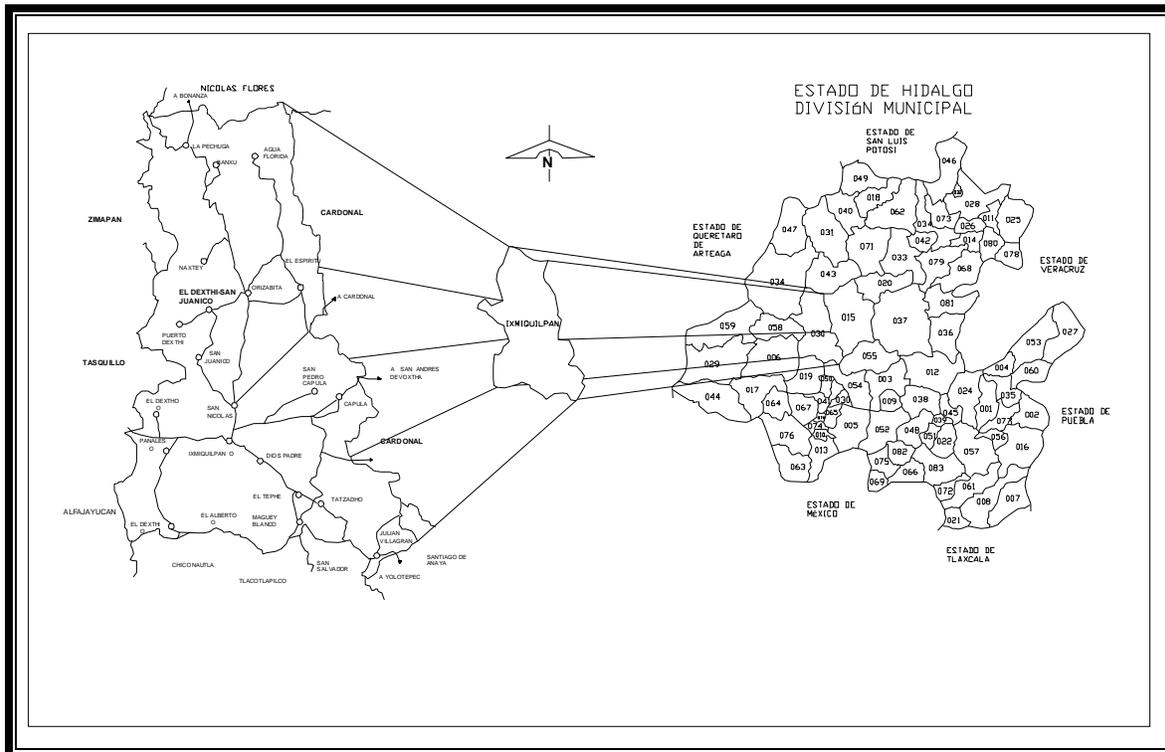


Fig. II.1 Ubicación del Dexthí dentro del Municipio de Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo.

Fuente: INEGI

II.1.2 Características políticas

En general los pueblos y barrios Ñahñus del Valle del Mezquital obedecen las leyes generales del país y a sus autoridades, sin embargo de manera muy discreta tienen sus autoridades tanto civiles como eclesiásticas, las cuales son nombradas anualmente entre los propios pobladores en una reunión en la plaza del pueblo o barrio, nombrando un juez propietario y tres jueces auxiliares o suplentes, los que a su vez nombran a sus ayudantes.

II.1.3 Orografía e Hidrografía

La comunidad de estudio pertenece a las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre Oriental. La porción Norte de la zona se caracteriza por ser una área montañosa considerada como estribación del Eje Neovolcánico, aunque comparte algunos elementos de la Sierra Madre; incluye la región conocida como Sierra de Juárez y en ella destacan los cerros: Juárez, La Palma, El Cerrote, El León, Xithe, La Muñeca, Xinthé y Santuario, que forman los parte-aguas y límites de cuencas y barrancas importantes como las de: Nijamayé, La Cadena, El Sotano, La Campana, El Encino, Los Libros, El Nogal, Mayorazgo y, en el extremo Noreste, El Binguinero y Tolantongo. Hacia la base Sur de esta sierra, descienden un conjunto de formas acordonadas formadas por roca sedimentarias que en su conjunto constituyen un sistema de mesetas y barrancas que definen una geomorfología muy característica y peculiar. Rumbo a la porción Central y Sur la fisiografía se conforma de pequeños valles interrumpidos por algunas elevaciones, estos valles son: el de Tasquillo, San Juanico-Panales, El Espíritu y San Antonio Sabanillas. Hacia la parte Noreste y Este se encuentra una secuencia de anticlinales calizos pertenecientes a la Sierra Madre Oriental, que forman la Sierra de San Miguel de la Cal, donde destacan los cerros Xuemeye, El Fraile, Blanco, El Verde y El Gumbo, que limitan de manera natural el valle del Sauz-San Andrés Daboxtha y las barrancas de Los Mayorga y La Salina (INEGI, 1992).

La zona se localiza dentro de la Región Hidrológica 26, denominada del Pánuco, y a una de las sub-cuencas del Río Tula, mismo que nace en el cerro de la Bufo en la Sierra de Monte Alto, Estado de México y que al penetrar al Estado de Hidalgo confluye con el Río Salado y se conecta a través del túnel Zumpango-Tequisquiác con el gran canal del desagüe. Desde Mixquiahuala hasta Ixmiquilpan el río recibe pocos afluentes y sólo cerca del Mandhó es donde encuentra en confluencia con el río Actopan, después la afluencia del arroyo de Portezuelos y por último, converge con el arroyo Orizabita. La parte Noreste y este de la zona pertenecen a la cuenca del Río Amajac.

El otro río de importancia es el de Actopan, el cual baja por una profunda barranca muy cerca a Estanzuelas, próxima a Tlacuautla en el Valle de Actopan; hasta Ocotzá forma otra barranca que desemboca en la Presa Debohdé. De ahí recorre la planicie de Ixmiquilpan hasta confluir con el Río Tula en las cercanías del Mandhó. El período de estiaje de ambos ríos se da a fines de febrero y el de avenidas va de julio a septiembre.

II.1.4 Clima

El clima de la comunidad del Dexthi, de acuerdo con la clasificación de Köppen es semiseco templado con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 25⁰ C, las temperaturas medias más altas se registran en los meses de mayo a septiembre, siendo la mayor de aproximadamente de 27.0⁰ C en el mes de junio, y las temperaturas medias más bajas en los meses de Diciembre a Febrero, siendo la menor en el mes de enero con valor de 13.4⁰ C. Los vientos dominantes son del sureste.

II.1.5 Tipo de suelos y estratigrafía

De la carta de suelos editada por el INEGI, se encontró la siguiente clasificación sobre los tipos de suelos: Hc+E+Rc/1, en donde el tipo de suelo dominante Hc es Feozem Calcárico, y los suelos secundarios son : E Rendzina , Rc Regozol Calcárico, además de que la clase de textura en los 80 cm superficiales del suelo No.1 es del tipo grueso.

Los suelos poco desarrollados como son: Feozem Calcárico están relacionados principalmente a lugares con abundantes afloramientos rocosos y con altos contenidos de carbonatos, así como los Regosoles calcáricos que tienen un grado de acidez y fertilidad muy baja.

Está conformada por Limolita-Arenisca, esta unidad sedimentaria de origen continental lacustre data del Terciario Superior y está integrada por la alternancia de limolita y arenisca. La limolita es de color blanco y contiene fósiles vegetales remplazados por carbonato de calcio. La arenisca se presenta en capas de uno a dos metros de espesor, en ocasiones es masiva, y contiene fragmentos angulosos de cuarzo y de roca menores de un milímetro de diámetro.

La unidad sobreyace en forma discordante a las calizas de la formación El Doctor y a productos volcánicos terciarios.

II.1.6 Comunicaciones y Transporte

El acceso a la comunidad es por la Carretera Federal No. 85, México-Laredo misma que pasa por las ciudades de Pachuca, Actopan, Ixmiquilpan y el poblado de Tasquillo. Los otros accesos son a través de la Carretera Estatal No. 30, Tula-Ixmiquilpan que pasa por los poblados de Mixquiahuala, Progreso y Chilcuautla; y la Carretera Libre No.45, Ixmiquilpan-Pamillas, que une a Ixmiquilpan, Alfajayucan y Huichapan.

La comunidad del Dexthi San Juanico cuenta con un camino de terracería que comienza desde la carretera en el poblado de San Juanico y pasa por las comunidades del Durazno y La Palma.

Cuenta con transporte urbano de camionetas de pasajeros, taxis y telefonía celular.

Dentro de la comunidad se captan los canales de televisión nacional y estaciones de radio de la región.

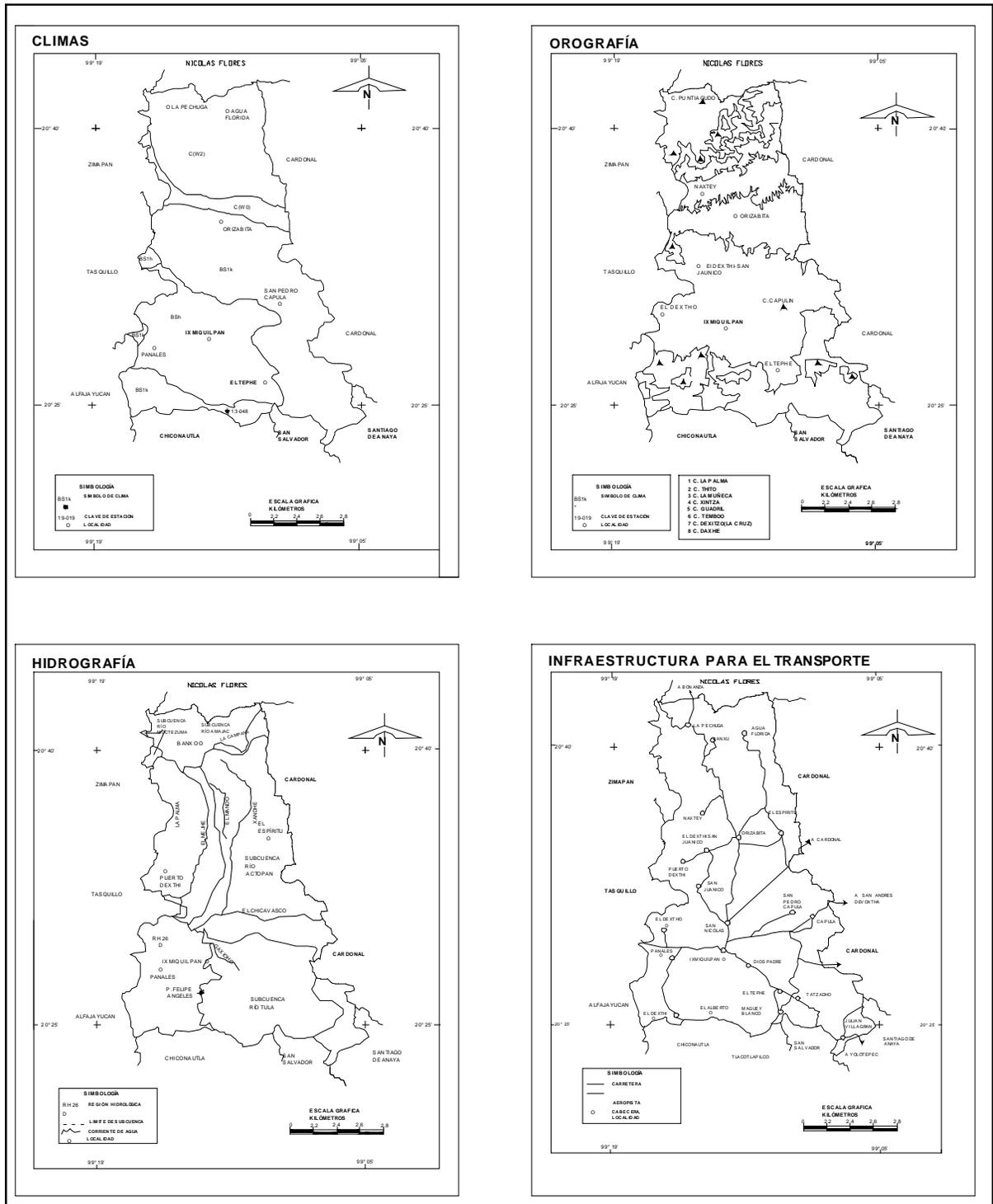


Fig. II.2 Mapas de información de clima, orográfica, hidrográfica y de infraestructura de transporte de la zona del municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.

Fuente: INEGI

II.1.7 Descripción de los servicios públicos existentes

II.1.7.1 Educación

Mediante las visitas realizadas a la comunidad, pudimos observar que el servicio educativo cuenta con planteles de nivel elemental: Preescolar del DIF, una primaria y una telesecundaria las cuales satisfacen las necesidades educativas de la propia comunidad y de algunas poblaciones aledañas.

Resaltando la labor que desarrollan los estudiantes de diferentes disciplinas por parte de la UNAM, que mediante su labor social, coadyuvan al desarrollo educativo de la región.

II.1.7.2 Salud

Existe un centro de salud que brinda atención médica de forma gratuita a la población de la región. Éste centro ofrece sólo servicios de medicina general, debido a las carencias de equipo y personal.

Aunque los servicios médicos existentes no son suficientes para atender las necesidades de la comunidad, los habitantes han mantenido un equilibrio biológico-social gracias al conocimiento de la medicina tradicional que les han legado sus ancestros durante cientos de años, los cuales son aún de gran importancia para la preservación de su salud.

II.1.7.3 Infraestructura Urbana

En la localidad se proporciona el servicio de electricidad, aunque no se brinda el servicio de alumbrado público, tampoco cuentan con el servicio de una red telefónica. Las calles carecen de pavimentación, banquetas, guarniciones y alcantarillado.

Actualmente la comunidad cuenta con un pequeño sistema de distribución y abastecimiento pero este resulta totalmente insuficiente debido a que este sistema distribuye agua a 5 comunidades las cuales son: Naxtey ,Bojay, Puerto Dexthi, Dexthi San Juanico y La Palma, por lo que se han presentado problemas entre estas comunidades por la cantidad y el tiempo de abastecimiento que se le asignó a cada una, así como la falta de capacitación para manejo del equipo de bombeo,

regulación y distribución, ya que cada año se elige a una persona de la comunidad para el manejo de este sistema, dicha persona casi nunca tiene la información necesaria para el manejo de dicho sistema, por que deben manejar válvulas de control y seccionamiento para abastecer a las diferentes comunidades, cantidades de agua para las diferentes comunidades, en especial este es uno de los principales problemas que se presenta ya que a las comunidades cercanas y con menor cantidad de población muchas veces se les abastece con una cantidad mayor de agua.

Actualmente la captación se lleva a cabo mediante el bombeo directo de un afluente del río Tula ubicado en el municipio de Taxquillo a unos 6 kilómetros del Dexthi San Juanico, el afluente del río Tula y el equipo de bombeo se encuentran con un desnivel de 300 metros hasta el tanque de regulación y distribución con una capacidad de 200 m³, los problemas de la distribución se dan por la topografía accidentada del terreno en donde se encuentra la tubería de distribución ya que hay tramos en donde se tienen grandes pendientes positivas y otros en donde las pendientes se vuelven negativas por lo que resulta con grandes perdidas de carga, perdidas por fricción, y la toma clandestina de algunas comunidades para el riego de cosechas durante todo el sistema de distribución, lo cual afecta a las últimas comunidades en abastecer, las cuales son: Dexthi San Juanico y La Palma a las que les llega una cantidad mínima de agua durante muy pocas horas a la semana, lo cual no cubre con las necesidades mínimas de los habitantes de estas comunidades, teniendo muchas veces que comprar el agua mediante pipas lo cual significa un gasto mayor extra, además, del pago elevado que cada familia paga por el sistema actual de abastecimiento de agua. Y muchas otras personas de edad avanzada tienen que acarrear el agua en cubetas desde grandes distancias.

Otro problema que se presenta en el lugar de la captación es relacionado con la contaminación del agua, ya que el lugar no está cercado para evitar que los animales beban y contaminen con excrementos y orina el agua que se lleva a los habitantes de las comunidades, otro factor de contaminación es en cuanto al aseo de personas y el lavado de ropa.

La potabilización del agua es nula ya que se utiliza tal y como se toma desde la captación, por lo que hay que concientizar a la población de aplicar un método de potabilización, ya sea hirviendo el agua, agregando una pequeña cantidad de cloro o comprando un purificador comercial.

II.1.8 Aspectos Socio-Económicos de la comunidad

II.1.8.1 Actividades económicas

Las principales actividades económicas de la población en el municipio son las siguientes:

La población total es de aproximadamente 420 habitantes, en su mayoría pertenecientes al grupo étnico Ñahñu (Otomíes) que en términos generales se dedican a la talla de la lechuguilla (Agave lechuguilla), y la manufactura de implementos de fibra de ixtle y fabricación de shampoo de especies naturales. Los niveles de ingresos y de marginación los ubican como de extrema pobreza. Por lo que de los ingresos que reciben por parte de sus familiares que trabajan en los Estados Unidos resulta ser realmente la principal fuente de ingresos de la comunidad.

Los principales cultivos son: maíz forrajero, frijol, habas, chile y zacate. Se tienen 607.08 ha de agricultura de temporal, 308 ha de cultivos de lechuguilla 128.77 ha de áreas con erosión grave y 61.68 ha de asentamientos humanos. La pedregosidad superficial y la falta de agua en estos sitios son los principales obstáculos para la agricultura.

Ganadería: En la comunidad las especies predominantes es la cría de pollos. Por otra parte, los principales productos pecuarios son; huevo, leche de ganado bovino y carne de cerdo, res, ganadería extensiva de ganado caprino ya que se adapta más a las condiciones topográficas irregulares, a la pedregosidad y al clima seco.

Comercio: Cuenta con establecimientos comerciales de los cuales sus giros representativos son: artículos alimenticios, bebidas y de uso personal.

II.1.8.2 Aspectos Culturales

Desde la época Colonial, las fiestas católicas son un verdadero pivote secular de la vida comunitaria. En los territorios locales, la celebración del santo patrono es el símbolo espiritual de la coalición de pequeñas unidades familiares, vinculadas entre sí por relaciones de parentesco, vecindad y compadrazgo. Los diferentes aspectos del ritual católico están coordinados de alguna manera mediante una fiesta única del calendario anual.

II.1.8.3 Aspectos Demográficos

Se ha incrementado de manera considerable la migración hacia los Estados Unidos, en un principio la migración fue de la población masculina pero ahora que dicha población se ha logrado establecer en dicho país, se está incrementando el migración de las familias completas, quedando en la comunidad solo la gente mayor, niños pequeños y pocas familias que ninguno de sus integrantes ha migrado todavía.

II.2 Estudios de Campo

II.2.1 Visitas de inspección y reconocimiento al sitio de los trabajos

Los recorridos tuvieron por objetivo identificar en campo el principio y el fin de la línea de distribución. Se identificó el inicio de la línea en el tanque de regulación localizado en la parte alta de un cerro, mientras que el fin se encuentra en la parte baja de la comunidad Dexthi San Juanico. También se identificó en campo la infraestructura urbana como la distribución de las viviendas, escuelas, DIF, Iglesias, etc., caminos, servicios de agua potable (tomas domiciliarias), drenaje y energía eléctrica, ya que con estos datos se determinaron las condiciones físicas y técnicas involucradas para la correcta realización de los proyectos y trabajos.

El reporte fotográfico permite apreciar la urbanización característica de la zona, y la infraestructura que se debe considerar en el trazo de la línea de distribución, además con las fotografías se obtuvo una mejor visión y evaluación de los trabajos.

II.2.2 Información Topográfica

El levantamiento topográfico es uno de los puntos más importantes del proyecto, ya que en base a él, se realizarán todos nuestros cálculos; por eso, es de suma importancia su correcta ejecución, tanto en las visitas de campo, como en su análisis.

Durante este proceso trabajamos conjuntamente con la brigada de topografía. La primera actividad que tuvimos fue una reunión en la cual les indicamos la información que nosotros requeriríamos para el proyecto y nos pusimos de acuerdo para el procedimiento del levantamiento adecuado de los datos.

Para nuestro proyecto, la información topográfica que necesitamos son las curvas de nivel de la zona así como la planimetría para realizar el trazo de la red de distribución.

Esta etapa del proyecto requirió que realizáramos varias visitas a la comunidad.

El equipo topográfico que se utilizó nos fue facilitado por la División de Topografía de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se trazó una poligonal de apoyo para referenciar el tanque, la línea de alimentación y la red de distribución, desde cada punto de dicha poligonal se tomaron radiaciones arbitrarias para obtener la configuración del terreno; se radiaron también puntos importantes para su referenciación en la planimetría y se hizo el levantamiento físico de la infraestructura urbana.

El trabajo de gabinete fue realizado por la brigada de topografía, la cual nos entregó los planos de planimetría y curvas de nivel.

III. ESTUDIOS BÁSICOS

III. ESTUDIOS BÁSICOS

III.1 Periodo de diseño

De acuerdo a lo establecido en el libro V en el capítulo sobre estudios básicos del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, realizado por la Comisión Nacional del Agua se recomienda para los proyectos de redes de distribución de agua potable, para localidades de 2500 a 15000 habitantes, un periodo económico de 10 años.

III.2 Predicción de la población

III.2.1 Población según el último censo oficial.

La predicción de la población se realizó por los métodos más conocidos y sencillos, ya que por tratarse de una población pequeña no se requiere de gran precisión en la obtención de dicha población, a continuación se describen y se obtienen los resultados con cada método matemático elegido.

Se recopiló la información de los últimos 5 censos oficiales, los cuales el I.N.E.G.I., levanta cada 10 años, siendo éstos:

DATOS DE POBLACIÓN	
AÑO	POBLACIÓN
1960	150
1970	200
1980	250
1990	380
2000	420

Tabla III.1. Datos de censos de población INEGI.
Fuente: INEGI

III.2.2 Modelo Aritmético

El modelo aritmético tiene como característica un incremento de población constante para incrementos de tiempo iguales y en consecuencia la velocidad de crecimiento o sea la relación del incremento de habitantes con respecto al período de tiempo es una constante; expresado como ecuación se tiene:

$$dp/dt = K_a \quad \text{o bien:}$$

$$dP = K_a dt$$

donde P es la población; t el tiempo y K_a una constante que significa el incremento de población en la unidad de tiempo (año, decenio, etc). Integrando,

$$\text{Integral de 1 a 2 (cambiar a símbolo)} \quad dP = K_a \text{ Integral de 1 a 2 dt}$$

$$P_2 - P_1 = K_a (t_2 - t_1)$$

Donde se obtiene K_a :

$$K_a = P_2 - P_1 / t_2 - t_1$$

Para un tiempo cualquiera se tiene la ecuación lineal siguiente:

$$P = P_2 + K_a (T - t_2)$$

Donde el índice "2" se considera para los datos iniciales (P_2 , la población inicial en el tiempo t_2).

Obtener la población para el año 2016 con el modelo aritmético:

$$K_{a \text{ 2000-1990}} = 420 - 380 / 2000 - 1990 = 4$$

$$P_{2016} = P_{2000} + K_{a \text{ 2000-1990}} (2016 - 2000)$$

$$P_{2016} = 420 + 4 (2016 - 2000) = 484$$

$P_{2016} = 484$ habitantes

III.2.3 Modelo Geométrico

El modelo geométrico de crecimiento de población se caracteriza por tener una velocidad de crecimiento directamente proporcional al valor de la población en cada instante de tiempo, o sea $dP / dt = K_G P$ ó $dP / P = K_G dt$

Donde K_G es la velocidad de crecimiento cuando la población P es la unidad.

Integrando la ecuación se obtiene:

Integral de 1 a 2 $dp/ P = K_G$ integral de 1 a 2 dt

$\ln P_2 - \ln P_1 = K_G (t_2 - t_1)$ ecuación 3

de la ecuación 3

$$K_G = (\ln P_2 - \ln P_1) / (t_2 - t_1)$$

Para un tiempo T cualquiera:

$$\ln P = \ln P_2 + K_G (T - t_2)$$

Obtener la población para el año 2016 con el modelo geométrico.

Tomando los datos de los dos últimos censos:

$$K_G_{2000-1990} = (\ln 420 - \ln 380) / (2000 - 1990) = 0.0100$$

$$\ln P_{2016} = \ln P_{2000} + K_G_{2000-1990} (2016 - 2000)$$

$$\ln P_{2016} = \ln 420 + 0.0100 (16)$$

$$\ln P_{2016} = 6.04 + 0.0100 (16) =$$

$$\ln P_{2016} = 6.04 + 0.16 =$$

$$\ln P_{2016} = 6.2$$

$$P_{2016} = e^{6.2} = 493 \text{ habitantes}$$

$P_{2016} = 493$ habitantes

III.2.4 Método de los mínimos cuadrados

Una relación lineal entre dos variables queda representada por una línea recta cuya ecuación general es $y = a + bx$. El método de los mínimos cuadrados es el procedimiento matemático utilizado para determinar los valores numéricos de las constantes "a" y "b" en la ecuación. El método utiliza el conjunto de observaciones que en este caso son años y número de habitantes.

Sustituyendo los valores en las ecuaciones :

$$\Sigma y = n a + b \Sigma x$$

$$\Sigma xy = a \Sigma x + b \Sigma x^2$$

Donde n representa el número de pares de observaciones utilizadas en la regresión.

X	Y	X ²	Y ²	XY
1960	150	3841600	22500	294000
1970	200	3880900	40000	394000
1980	250	3920400	62500	495000
1990	380	3960100	144400	756200
2000	420	4000000	176400	840000
$\Sigma X = 9900$	$\Sigma Y = 1400$	$\Sigma X^2 = 19603000$	$\Sigma Y^2 = 445800$	$\Sigma XY = 2779200$

Tabla III.2. Valores obtenidos para el método de los mínimos cuadrados.

Resolviendo el sistema de ecuaciones:

$$1400 = 5 a + 9900 b$$

$$2779200 = 9900 a + 19603000 b$$

Se obtiene que $a = -13976$ y $b = 7.2$, por lo tanto la ecuación de regresión es $Y = 7.2 X - 13976$, que permite calcular la población para cualquier año.

Para el año 2016 la población de proyecto con el método de los mínimos cuadrados será:

$P_{2016} = 540$ habitantes

III.3 Datos Básicos

III.3.1 Dotación

NÚMERO DE HABITANTES	CLIMA		
	Cálido	templado	Frío
2500 a 15000	150	125	100
15000 a 30000	200	150	125
30000 a 70000	250	200	175
70000 a 150000	300	250	200
Mayor de 150000	350	300	250

Tabla III.3. Dotación de agua potable (l/hab/día).
Fuente: MAPAS

Determinamos para este proyecto una dotación media de 150 l/hab/día de acuerdo a lo recomendado por el Manual de Diseño de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento, publicado por la Comisión Nacional del Agua para una localidad con una población entre 2,500 a 15,000 habitantes con clima cálido.

Cabe señalar que para nuestra población de 540 habitantes, esta dotación estará un poco sobrada pero debido al desarrollo paralelo del sistema de alcantarillado, se garantiza el desalojo de las aguas residuales, además de que la fuente de abastecimiento garantiza dicho suministro.

III.3.2 Coeficiente de Variación

La demanda de agua no es constante durante el año, inclusive se presentan variaciones durante el día, esto hace necesario que se calculen gastos máximos diarios y máximos horarios. Para el cálculo de estos es necesario utilizar Coeficientes de Variación diaria y horaria respectivamente.

Los valores de los coeficientes de variación son los siguientes:

- Coeficiente de Variación Diaria

$CV_d = 1.2$ a 1.5 normalmente se utiliza 1.2

Coeficiente de Variación Horaria

$CV_h = 1.5$ a 2.0 normalmente se utiliza 1.5

Para este proyecto utilizaremos los siguientes coeficientes:

Coeficiente	Valor
Coeficiente de Variación Diaria CV_d	1.2
Coeficiente de Variación Horaria CV_h	1.5

III.3.3 Gasto Medio Diario

Cantidad de agua requerida por un habitante en un día de consumo promedio.

$$Q_{md} = P \times D / 86400$$

$$Q_{md} = 540 \times 150 / 86400 = 0.9375 \text{ lps} \approx 1.00 \text{ lps}$$

$$\mathbf{Q_{md} = 1.00 \text{ lps}}$$

En donde:

Q_{md} = Gasto medio diario, en lps

P = Número de habitantes

D = Dotación, l/hab/día

86,400 = segundos /día

III.3.4 Gasto Máximo Diario

Este gasto se utiliza como base para el cálculo del volumen de extracción máxima diaria de la fuente de abastecimiento, para el diseño del equipo de bombeo, la conducción y el tanque de regulación y almacenamiento.

$$Q_{MD} = CV_d \times Q_{md}$$

$$Q_{MD} = 1.2 \times 1.00 = 1.20 \text{ lps}$$

$$\mathbf{Q_{MD} = 1.20 \text{ lps}}$$

En donde:

QMD = Gasto máximo diario, en lps

CVh = Coeficiente de variación diaria

Q_{md} = Gasto medio diario, en lps

III.3.5 Gasto Máximo Horario

Gasto que se toma como base para el cálculo del volumen requerido por la población en el día de máximo consumo y a la hora del máximo consumo.

$$Q_{MH} = CV_h \times Q_{MD}$$

$$Q_{MH} = 1.5 \times 1.2 = 1.80 \text{ lps} \approx 2.00 \text{ lps}$$

$$Q_{MH} = 2.00 \text{ lps}$$

En donde:

Q_{MH} = Gasto máximo horario, en lps

CVd = Coeficiente de variación horario

Q_{MD} = Gasto máximo diario, en lps

III.3.6 Velocidades y Presiones

La velocidad permisible de conducción del agua dentro de las tuberías están determinadas por los efectos de erosión y de asentamiento de partículas, esto es, el límite máximo de velocidad depende de la resistencia a la erosión del material del cual este fabricado el tubo, y no así el límite mínimo el cual es independiente del material.

MATERIAL DEL TUBO	VELOCIDAD PERMISIBLE	
	MINIMA (m/s)	MAXIMA (m/s)
Concreto Simple hasta 45 cm	0.3	3.0
Concreto Reforzado de 45 cm o mayores	0.3	3.5
Concreto Pre-esforzado	0.3	3.5
Asbesto Cemento	0.3	5.0
Acero Galvanizado	0.3	5.0
Acero sin revestimiento	0.3	5.0
Acero con revestimiento	0.3	5.0
PVC	0.3	5.0
Polietileno de Alta Densidad	0.3	5.0

Tabla III.4. Velocidades permisibles de conducción para tubería de diferentes materiales.

Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – Comisión Nacional del Agua.

Las presiones o cargas disponibles de operación en cualquier punto de la red deben estar comprendidas entre 1.5 y 5.0 kg/cm² (15 a 50 mca). Para localidades urbanas pequeñas se puede admitir una presión mínima de 1.0 kg/cm² (10 mca).

La presión o carga hidráulica que actúa en un punto de una tubería se define por la diferencia de la cota piezométrica en ese punto y la cota del centro de la tubería.

En redes de distribución es común manejar las presiones con relación al nivel de la calle en vez de referirlas al centro del tubo. En este caso se les llama presiones disponibles o libres y se calculan para los cruceros de las tuberías.

El régimen de presiones de una red depende de dos factores: la necesidad del servicio y las condiciones topográficas de la localidad.

Por otro lado, presiones muy altas en la red requerirán de tuberías y accesorios más resistentes (más costosos) e incrementan las fugas, Por lo tanto en ningún punto de la red la presión no debe exceder de la presión máxima permisible.

La presión mínima debe verificarse en la red de distribución de tal manera que en todos los puntos se tenga una presión por lo menos igual a ésta en la hora de máxima demanda y se garantice un suministro mínimo. En cambio, la máxima se presentará cuando exista poca demanda y la red continúe funcionando a presión.

El establecimiento de estas condiciones en una localidad se combina con su topografía. Como resultado de esto, en los puntos más elevados, la presión disponible en las horas de máximo consumo no debe ser inferior a la presión mínima requerida; en cambio, en los puntos más bajos esta presión no debe ser superior a la presión máxima especificada.

Las zonas de presión son divisiones realizadas en la red de distribución debido a la topografía, el tamaño o las políticas de operación de la localidad.

La zonificación o división en zonas de presión es aconsejable cuando se sobrepasan las presiones admisibles en la red de distribución, es decir, al cumplir con la presión mínima requerida en la red se sobrepasa la presión máxima permisible en otra parte de la misma. Lo anterior sucede cuando la topografía de la localidad es muy irregular o la localidad es muy grande.

Usualmente las zonas de presión pueden interconectarse entre sí para abastecer en forma ordinaria cuando se tiene una sola fuente, o extraordinaria (incendio, falla de la fuente, reparaciones, etc.) cuando se tienen varias fuentes. La interconexión entre las zonas de presión se realiza mediante la maniobra de válvulas, descarga directa a tanques o uso de válvulas reductoras de presión en zonas bajas o de re-bombes a zonas altas.

Las políticas de operación influyen en la zonificación debido a la existencia de límites políticos, mejor control del abastecimiento y su distribución, así como de la operación y mantenimiento de la red de distribución.

IV. PROYECTO

IV. PROYECTO

IV.1 Obra de Captación

De acuerdo a los estudios geo-hidrológicos y geofísicos realizados por la CNA, se determinó que la obra de captación más adecuada para éste proyecto fue un pozo profundo, con una profundidad de 150 m y un diámetro de ademe de 10 pulgadas. Cabe señalar que dicha obra se encuentra construida casi en su totalidad, faltando por instalar únicamente el equipo hidromecánico.

Así mismo la CNA realizó los estudios de la calidad del agua, en el cual el muestreo obtenido, cumplió satisfactoriamente con los parámetros físicos y químicos requeridos.

IV.2 Conducción

Se denomina “línea de conducción” a la parte del sistema constituida por el conjunto de conductos y accesorios destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento desde el lugar de la captación hasta un punto que puede ser un tanque de regulación, una planta potabilizadora o la red de distribución. Su capacidad se calculará con el gasto máximo diario.

El proyecto de la línea de conducción lo elaborará la CNA, según acuerdo entre los representantes de la comunidad y la propia dependencia.

IV.3 Regularización

La comunidad construyó un tanque de almacenamiento de mampostería con una geometría de 8 x 5 x 2.5 m el cual tiene una capacidad de almacenamiento aproximada de 100 m³, en la parte más alta accesible y cercana a la población, el cual tiene las dimensiones que se muestran en el plano IV.4.7.1,(Detalle geométrico del tanque de regularización).

El tanque de regularización debe de proporcionar un servicio eficiente, cumpliendo con las normas de higiene y seguridad. El tanque se dimensiona en base al gasto máximo diario y la ley de las demandas de la localidad, además debe contemplar en el dimensionamiento un volumen extra de almacenamiento para cubrir cualquier demanda de emergencia, como puede ser una falla en el sistema de alimentación (bomba, conducción, etc), un incendio, etc. En base a un estudio realizado por la CNA a través del IMTA (Instituto Mexicano del Agua), se presenta una tabla de variaciones de consumo expresadas en porcentaje del gasto máximo horario. Tabla IV.1.

HORAS	POBLACIONES PEQUEÑAS	CIUDAD DE MÉXICO
0-1	45	61
1-2	45	62
2-3	45	60
3-4	45	57
4-5	45	57
5-6	60	56
6-7	90	78
7-8	135	138
8-9	150	152
9-10	150	152
10-11	150	141
11-12	140	138
12-13	120	138
13-14	140	138
14-15	140	138
15-16	130	141
16-17	130	114
17-18	120	106
18-19	100	102
19-20	100	91
20-21	90	79
21-22	90	73
22-23	80	71
23-24	60	57

Tabla IV.1. Ley de demandas horarias

Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – Comisión Nacional del Agua.

Beneficios de la regularización.

- a) Poder disponer de equipos de bombeo de capacidad pequeña, ya que no depende de este el gasto alimentado a la red de distribución.
- b) Cuando existe en el sistema, la planta potabilizadora puede ser operada en forma económicamente adecuada.
- c) Puede ser utilizada para el combate de incendios
- d) Se proporciona presión uniforme en la zona de servicio a lo largo del día.

Cálculo del volumen de regularización

- a) Se calcula con el gasto máximo diario
- b) El análisis se hace en ciclos de 24 horas
- c) Se aplica el principio de conservación de la masa, en un sistema el flujo másico de entrada menos el flujo másico de salida es igual al volumen acumulado.

$$A = E - S$$

Donde:

A = Volumen acumulado

E = Aportación de las fuentes

S = Consumo de agua por la población

La aplicación de esta expresión se hace para cada hora del ciclo de 24, con la finalidad de observar el comportamiento de un tanque hipotético ante los flujos de entrada y salida.

El volumen de regularización es la suma del máximo excedente y del máximo déficit (en valor absoluto) por el gasto máximo diario, por lo que se tiene la siguiente expresión.

$$V_R = | \text{Máx excedente} | + | \text{Máx déficit} | / 100 * 3600/1000 Q_{MD} \quad ;$$

$$V_R = \text{Volumen de regularización, en m}^3$$

$$Q_{MD} = \text{Gasto máximo diario, en l/s}$$

Horas	Suministro (Entradas) Q bombeo en %	Demandas (Salidas)		
		Demanda horaria en % (1)	Diferencias	Diferencias acumuladas
0-1	0	45	-45	-45
1-2	0	45	-45	-90
2-3	0	45	-45	-135
3-4	0	45	-45	-180
4-5	0	45	-45	-225
5-6	0	60	-60	-270
6-7	0	90	-90	-330
7-8	400	135	265	-420
8-9	400	150	250	-155
9-10	400	150	250	95
10-11	400	150	250	345
11-12	400	140	260	595
12-13	400	120	280	855
13-14	0	140	-140	1135
14-15	0	140	-140	995
15-16	0	130	-130	855
16-17	0	130	-130	725
17-18	0	120	-120	595
18-19	0	100	-100	475
19-20	0	100	-100	375
20-21	0	90	-90	275
21-22	0	90	-90	185
22-23	0	80	-80	95
23-24	0	60	-60	15
Total	2400	2400		-45

Tabla IV.2. Volumen de regularización para un suministro de 6 horas al tanque.

Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – Comisión Nacional del Agua.

$$V_R = 420 + 1135 = 1555\%$$

$$V_R = 15.55 \times 3600 / 1000 \times Q_{MD} = 55.98 Q_{MD}$$

$$Q_{MD} = 1.2 \text{ l/s}$$

Q_{MD} = Gasto máx. diario en l/s

V_R = Capacidad en m^3

$$V_R = 67.176 \text{ m}^3$$

Con lo calculado, se obtiene un volumen de regularización de 67.176 m^3 con lo cual el tanque existente cumple con el volumen necesario para una operación satisfactoria.

Debido a las condiciones topográficas aledañas a la ubicación del tanque (con gran pendiente) y en cumplimiento con las presiones recomendadas por la CNA, se optó por colocar dos cajas rompedoras de presión para la disminución de la presión que se tiene desde el tanque hasta la red de abastecimiento.

IV.4 Distribución

IV.4.1 Línea de Alimentación

Una línea de alimentación es una tubería que suministra agua directa a la red de distribución y que partiendo de una fuente de abastecimiento, de un tanque de regulación, o del punto en que convergen una línea de conducción y de una tubería que aporta agua de un tanque de regulación, termina en el punto donde se hace la primera derivación. En el caso de que haya más de una línea de alimentación, la suma de los gastos que escurren en esta línea hacia la red de distribución deberá ser igual al gasto máximo horario.

El cálculo hidráulico de la línea de alimentación se incluirá dentro del cálculo hidráulico de la red de distribución.

Debido a que se tiene una carga hidráulica de 84.37 m del tanque de regularización al nodo inicial de la red, se propuso en el proyecto la colocación de dos cajas rompedoras de presión, para cumplir con las presiones máximas que recomienda el Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento de la Comisión Nacional del Agua, el cual recomienda que la presión en cualquier punto de la red no debe sobrepasar los 50 m.c.a.

IV.4.1.1 Diseño de Cajas Rompedoras

Para que las presiones en cualquier punto de la red estén dentro de los parámetros de diseño se requieren 15 m.c.a. en el nodo 1 de la red por lo que se propone la colocación de dos cajas rompedoras de presión, distribuidas en el perfil de acuerdo al diseño de la línea de alimentación de tal manera que se disminuya la carga piezométrica que soporta la tubería en cualquier punto intermedio y que al hacer la diferencia entre la carga estática y las pérdidas de energía en dicho tramo se obtenga la presión requerida en el nodo 1:

Datos:

$$hf = \frac{(10.3)n^2 Q^2 L}{D^{\frac{16}{3}}} \quad ; \quad \text{Pérdida de energía}$$

n= 0.009 ; Coeficiente de rugosidad para el Polietileno de alta densidad

Q= 0.002 (m³/s) ; Gasto de diseño

D=0.0762 (m) ; Diámetro de diseño

L: Variable (m) : Longitud

Obtención de carga disponible en nodo 1

Caja rompedora de presión n. 2

Cadenamiento: 0+680.00 m

Elevación: 928.68 m

Nodo 1

Cadenamiento: 0+926.92 m

Elevación: 912.93 m

L= 246.92 m

Carga estática= 15.75 m

hf = 0.7566 m

Carga Disponible _(nodo 1) = Carga estática - Pérdidas de energía

Carga Disponible _(nodo 1) = 15.75 m - 0.7566 m = 14.99 m

Obtención de carga disponible en caja rompedora de presión 2

Caja rompedora de presión n. 1

Cadenamiento: 0+160.00 m

Elevación: 963.09 m

Caja rompedora de presión n. 2

Cadenamiento: 0+680.00 m

Elevación: 928.68 m

L= 520.00 m

Carga estática= 34.41 m

hf = 1.5933 m

Carga Disponible _(caja 2) = Carga estática - Pérdidas de energía

Carga Disponible _(caja 2) = 34.41 m - 1.5933 m = 32.82 m

Obtención de carga disponible en caja rompedora de presión 1

Tanque de regularización

Cadenamiento: 0+000.00 m

Elevación: 997.30 m

Caja rompedora de presión n. 1

Cadenamiento: 0+160.00 m

Elevación: 963.09 m

L= 160.00 m

Carga estática= 34.21 m

hf = 0.4902 m

Carga Disponible _(caja 1) = Carga estática - Pérdidas de energía

Carga Disponible _(caja 1) = 34.21 m - 0.4902 m = 33.72 m

IV.4.2 Consideraciones generales para sistemas de distribución

Los pasos generales para el diseño son los siguientes:

- 1.-Se identifican las zonas de distribución en función de su actividad.
 - 2.-Realizar un trazo preliminar de la red, partiendo del conducto primario se derivan los distintos circuitos necesarios para llevar el agua a los distintos puntos o zonas de distribución.
Se anotan las longitudes en cada tramo.
 - 3.-Calcular un coeficiente de gasto por metro lineal de tubo, dividiendo el gasto máximo horario entre la longitud virtual de la red.
- El concepto de la longitud virtual se utiliza para determinar el gasto que circulará por cada tramo de tubo, a este se le denomina gasto propio.

Para las líneas de alimentación, $L_{virtual} = 0$

Para tubos que abastecen a predios localizados de un solo lado, figura 3

$$L_{virtual} = L_{real}$$

Para tubos que abastecen a predios localizados de ambos lados, para una población uniformemente distribuida, figura 3.

$$L_{virtual} = 2 \times L_{real}$$

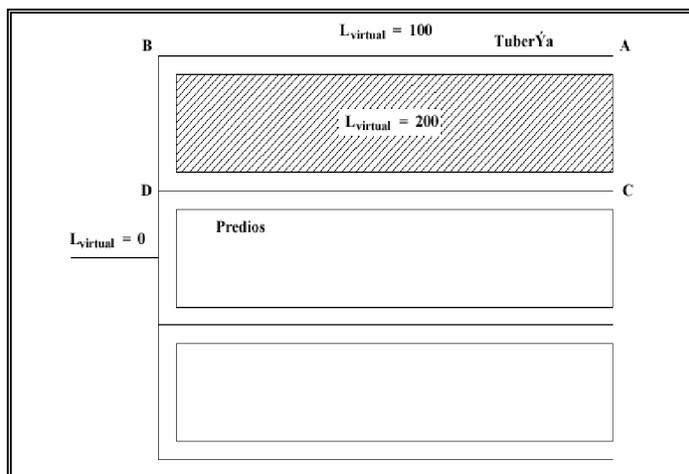


Fig. IV.1 Tramos que abastecen predios a un solo lado (A-B) y a ambos lados.

Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento – Comisión Nacional del Agua.

Al realizar la sumatoria de las longitudes virtuales de toda la red, se puede calcular el coeficiente de gasto por metro de tubería (q), usando la siguiente expresión.

$$q = Q_{MH} / \sum_i L_{virtual}$$

Donde:

q = Coeficiente de gasto por metro (l/s/m)=

Q_{MH} = gasto máximo horario

$\sum_i L_{virtual}$ = sumatoria de las longitudes virtuales de cada tramo de la red (m)

d) Numerar los cruceos existentes de la red

e) Calcular el gasto propio de cada tramo de la red, multiplicando el coeficiente de gasto q por la longitud virtual del tramo de tubo.

$$Q_{Propio} = q \times L_{virtual}$$

f) Partiendo del tramo más distante hasta el más cercano al depósito de regulación se hace la sumatoria de los gastos acumulados, tomando en cuenta los gastos de los tramos secundarios.

g) Determinar el diámetro de cada tramo, en base al gasto acumulado que debe conducir, considerándolo en el extremo o nudo terminal.

El cálculo de los diámetros preliminares depende de la velocidad de conducción dentro del tubo, para tal efecto se utiliza la ecuación de continuidad:

$$Q = VA \quad ; \quad A = \pi D^2 / 4$$

por lo tanto $Q = V\pi D^2 / 4$

$$\text{Despejando} \quad D = (4/\pi V)^{1/2}(Q)^{1/2} ;$$

Q = Gasto, m³/s

V = Velocidad del gasto m/s

A = Área transversal del tubo, m²

D = Diámetro interno de la tubería en m

El diámetro obtenido deberá ajustarse al diámetro comercial más próximo, normalmente se pasa al diámetro inmediato superior. Hasta este punto se tiene asegurado el suministro, falta garantizar la presión suficiente.

h) Determinar el nudo de la red con la presión más desfavorable. Para este propósito se deben tomar en cuenta los siguientes nodos.

- 1.- Los más distantes de la red
- 2.- Los de nivel topográfico más alto
- 3.- Los más distantes y más altos simultáneamente

Al calcular las pérdidas de carga con las formulas de Manning o Hazen-Williams, se toma el nodo que presente menor carga disponible y este punto gobernará el diseño. En caso de no cumplir con las presiones requeridas se debe modificar el diseño variando diámetros o de ser posible elevar el tanque regularizador.

$$h_f = (10.3 n^2 / D^{16/3}) L Q^2 \quad ;$$

Donde:

h_f = Pérdidas de energía, m

n = Coeficiente de Manning

L = Longitud del tramo, m

Q = Gasto acumulado del tramo, m^3/s

D = Diámetro comercial del tubo en el tramo por analizar, m

i) Ubicar las válvulas de seccionamiento, en general dos en las intersecciones de tres tubos y tres en las intersecciones de cuatro tubos, sin embargo, para cada proyecto se recomienda estudiar con todo cuidado la situación de las válvulas procurando utilizar el menor número posible de estos accesorios.

j) Dibujar el plano definitivo de la red de distribución, conteniendo los siguientes datos:

- a) Diámetros y longitudes en cada tramo
- b) Descripción de los cruceros, válvulas, codos, etc.
- c) En cada nudo un círculo con la cota de terreno, carga disponible.

La carga disponible se obtiene con la siguiente expresión.

$$CD = CP - CT$$

Donde:

CD = Carga Disponible, m

CP = Cota Piezométrica, m

CT = Cota del Terreno, m

k) Se hace una lista de los diámetros y longitudes de tuberías por cada tramo, piezas especiales, válvulas, etc.

l) Para los cruceros es conveniente hacer planos a detalle de cada uno, esto facilitará estudiar las combinaciones de las piezas que lo forman y así seleccionar las más económicas.

El concepto de longitud virtual se utiliza exclusivamente para definir el gasto que ha de circular por cada tramo de tubería. Obteniendo la longitud virtual total y dividiéndola entre el gasto máximo horario, se obtiene el gasto unitario por metro (q/m) de tubería y al multiplicarlo por la longitud virtual de cada tramo obtenemos el gasto unitario por tramo de tubería (q), con lo que se podrán obtener las extracciones en cada nodo de la red.

PROYECTO

Longitud Total: $L_T = 3,727.48$ m

Gasto Máximo horario; $Q_{MH} = 2$ l.p.s.

Gasto unitario por metro (q/m) = $Q_{MH} / L_T = 0.00054$ l.p.s. / m

Gasto unitario por tramo (q) = $(q/m) * L_p$

Tubo	Long. parcial m	Long. Virtual m	Configuración	q unit lps
1-2	129.99	129.99	Lr	0.06975
2-2'	26.55	53.1	2*Lr	0.02849
2 - 3	44.22	44.22	Lr	0.02373
3 - 3'	26.53	53.06	2*Lr	0.02847
3 - 4	36.09	36.09	Lr	0.01936
4 - 4'	24.13	48.26	2*Lr	0.02589
4 - 5	40.98	40.98	Lr	0.02199
5 - 6	482.68	965.36	2*Lr	0.51797
2 - 6	305.62	611.24	2*Lr	0.32796
6 - 7	212.68	425.36	2*Lr	0.22823
1 - 7	130.49	260.98	2*Lr	0.14003
7 - 8	55.67	55.67	Lr	0.02987
8 - 9	27.95	27.95	Lr	0.01500
9 - 10	127.5	255	2*Lr	0.13682
10 -11	31.77	63.54	2*Lr	0.03409
1 - 11	54.83	109.66	2*Lr	0.05884
8 - 11	128.4	256.8	2*Lr	0.13779
10 - 10'	72.23	144.46	2*Lr	0.07751
11 - 11'	72.88	145.76	2*Lr	0.07821

Tabla IV.3. Obtención de gastos unitarios por el método de las longitudes virtuales.

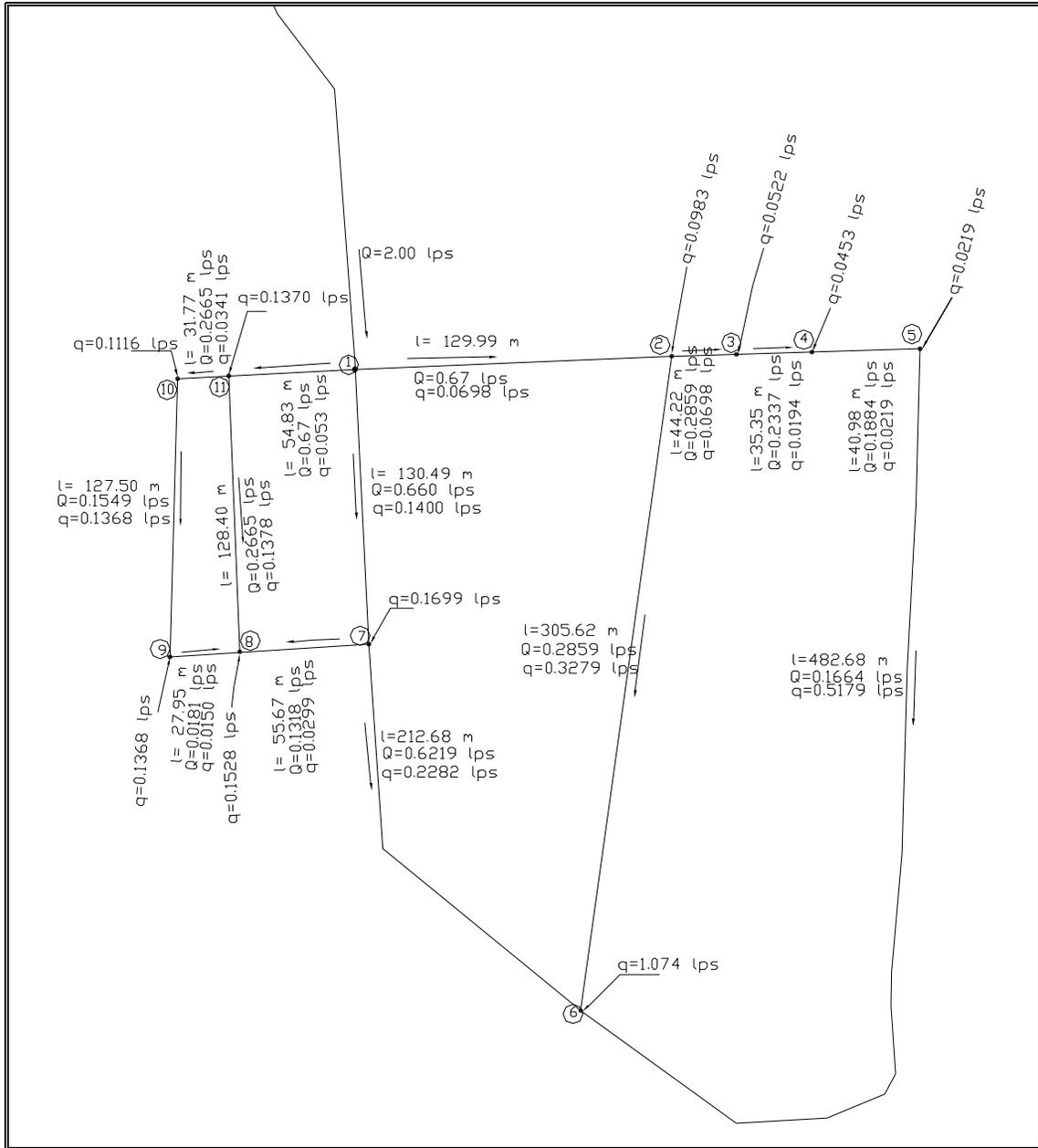


Fig. IV.II Representación de la configuración del trazo, longitudes y gastos unitarios en los nodos.

IV.4.3 Cálculo hidráulico por el método de Hardy -Cross

Según el gasto a transportar a través de una tubería, calculado según el criterio de la longitud virtual, se supone un diámetro de ésta que posteriormente se revisara, para saber si la red trabaja correctamente por el método de Hardy - Cross, éste se resuelve por el método de aproximaciones sucesivas que pueden aplicarse a los gastos supuestos en un principio o bien a las pérdidas de carga iniciales.

En este método, los gastos inicialmente supuestos se van corrigiendo mediante una formula de manera iterativa, hasta alcanzar el equilibrio hidráulico en la red. Para ello se asignan convencionalmente, signos positivos a los gastos que circulan conforme a la dirección de las manecillas del reloj y negativos en caso contrario.

A cada gasto Q1 y Q2 corresponden pérdidas de carga H1 y H2 respectivamente, las pérdidas en función del gasto están dadas por:

$$H = K Q^n \dots\dots\dots 1$$

donde K es una constante que depende de la tubería y n es una constante común en todas las tuberías; n = 1.85 cuando se aplica Hazen –Williams y n=2.00 si se usa Manning.

Tomando Q1 y Q2 de un sistema balanceado hidráulicamente.

$$H_1 = K_1 Q_1^n \dots\dots\dots 2$$

$$H_2 = K_2 Q_2^n \dots\dots\dots 2$$

Entonces $H_1 = K_1 Q_1^n$ debe ser igual a $H_2 = K_2 Q_2^n$, o sea $H_1 - H_2 = 0$. Lo más usual en un primer ensayo es igual $H_1 - H_2 \neq 0$.

Entonces debe aplicarse una corrección a los valores iniciales Q1 y Q2 ; así por ejemplo si $H_1 < H_2$, Q1 necesita un incremento de q quedando $Q_1 = Q_1 + q$, mismo que debe ser restado al Q2, por lo que $Q_2' = Q_2 - q$.

Si q es la corrección real tenemos que :

$$H_1' - H_2' = 0 \dots\dots\dots 3$$

O bien:

$$K_1(Q_1+q)^n - K_2(Q_2 - q)^n = 0 \dots\dots\dots 4$$

desarrollando los binomios:

$$K_1(Q_1^n + nqQ_1^{n-1} + \dots\dots + q^n)^n - K_2(Q_2^n - nqQ_2^{n-1} + \dots\dots + q^n)^n = 0 \dots\dots\dots 5$$

Si la primera iteración de la distribución del gasto ha sido razonable, q , será pequeño pudiéndose despreciar los términos siguientes.

Por lo tanto:

$$K_1Q_1^n + nK_1qQ_1^{n-1} - K_2Q_2^n + nK_2qQ_2^{n-1} = 0 \dots\dots\dots 6$$

Sustituyendo:

$$H_1 = K_1 Q_1^n \dots\dots\dots 7$$

$$H_2 = K_2 Q_2^n \dots\dots\dots 2'$$

$$K_1 Q_1^{n-1} = \frac{K_1 Q_1^n}{Q_1} \dots\dots\dots 7$$

$$K_2 Q_2^{n-1} = \frac{H_2}{Q_2} \dots\dots\dots 8$$

$$H_1 + nq \frac{H_1}{Q_1} H_2 + nq \frac{H_2}{Q_2} = 0 \dots\dots\dots 9$$

despejando:

$$H_1 - H_2 = -nq \left(\frac{H_1}{Q_1} + \frac{H_2}{Q_2} \right) \dots\dots\dots 10$$

$$q = - \frac{H_1 - H_2}{n \left(\frac{H_1}{Q_1} + \frac{H_2}{Q_2} \right)} \dots\dots\dots 11$$

En donde: Q1 , Q2 H1 y H2 tienen los signos correspondientes (+ o -) según el sentido del recorrido.

Generalizando la expresión:

$$q = - \frac{\Sigma H}{n \Sigma \frac{H}{Q}} \dots\dots\dots 12$$

si se usa Hazen- Williams queda:

$$q = - \frac{\Sigma H}{1.85 \Sigma \frac{H}{Q}} \dots\dots\dots 13$$

y aplicando la ecuación de Manning:

$$q = - \frac{\Sigma H}{2.00 \Sigma \frac{H}{Q}} \dots\dots\dots 14$$

El número de correcciones que debe hacerse depende de la aproximación del gasto distribuido en la primera estimación y del grado de exactitud deseado en los resultados.

PROYECTO

A continuación, se presentan los resultados finales obtenidos mediante éste método, después de once iteraciones.

TRAMO TUBERÍA	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
LONGITUD (m)	129.99	44.22	36.09	40.98	482.68	212.68	55.67	27.95	127.50	31.77	54.83	130.49	305.62	128.40
DIÁMETRO (pulgadas)	2"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	0.5"	1"	1"	2"	1"	1"	1"
Q (lps)	0.87	0.38	0.33	0.28	0.26	0.43	0.23	0.07	0.21	0.32	0.76	0.37	0.39	0.30
VELOCIDAD m/s	0.44	0.75	0.65	0.56	0.52	0.81	0.44	0.49	0.39	0.61	0.38	0.70	0.79	0.62

NODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
COTAS PIEZOMÉTRICAS	927.92	927.18	925.60	924.61	923.77	915.16	923.80	924.54	925.56	926.92	927.70
COTAS TERRENO	912.93	914.73	915.39	915.24	914.61	903.05	907.12	907.40	907.41	912.30	912.94
PRESIÓN (m.c.a)	14.99	12.45	10.21	9.37	9.16	12.11	16.69	17.14	18.15	14.62	14.76

Nota: La hoja de cálculo de las iteraciones para balancear hidráulicamente los gastos por este método se presentan en el anexo A.

IV.4.4 Cálculo hidráulico por el método de la Teoría Lineal

Este método fue desarrollado por D. J. Woody C.O.A. Charles entre 1970 y 1972. Se basa en la linealización de las ecuaciones de la energía en cada una de las tuberías de la red. Es un método muy apto para ser programado, ya que solo requiere de inversión de matrices y algunas iteraciones.

El método de la teoría lineal se basa en las siguientes ecuaciones:

Para cada unión (nodo) de la red se debe cumplir la ecuación de continuidad:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} Q_{ij} - Q_{ij} (+Q_{ei}) = 0 \dots\dots\dots 15$$

Si NU representa el número de nodos de la red se tendrán NU ecuaciones, una de las cuales es redundante.

Para cada uno de los circuitos de la red se debe cumplir con la ecuación de conservación de la energía.

$$\sum_{j=1}^{NT_i} (h_{fij} + \sum_{j=1}^{NT_j} h_{mij}) = 0 \dots\dots\dots 16$$

Si NC representa el número de circuitos en la red, se tendrán NC ecuaciones. Mediante la ecuación de Darcy-Weisbach en la ecuación 16 se obtiene:

$$\sum_{j=1}^{NT_i} \frac{Q_{ij}^2}{2gA_{ij}^2} \left(\sum K_{mij} + f_{ij} \frac{L_{ij}}{d_{ij}} \right) = 0 \dots\dots\dots 15'$$

La anterior ecuación indica que se tienen NC ecuaciones no lineales para el gasto. Dado que no es posible resolver directamente estas ecuaciones simultáneas no lineales, en el caso de redes se deben utilizar métodos iterativos.

Las ecuaciones 3 de las cuales existe una por cada circuito, se pueden transformar en:

$$\sum_{j=1}^{NTi} K_{ij} Q_{ij}^2 = 0 \dots\dots\dots 16$$

Es claro que el factor K_{ij} estaría definido como:

$$k_{ij} = \frac{\sum k_{mij} + f_{ij} \frac{I_{ij}}{d_{ij}}}{2 g A_{ij}^2} \dots\dots\dots 17$$

Para resolver el sistema de ecuaciones, el método de la teoría lineal propone el procedimiento siguiente:

$$h_{fij} + \sum h_{mij} = k'_{ij} Q_{ij} \dots\dots\dots 18$$

en donde:

$$k'_{ij} = k_{ij} Q_{oij} \dots\dots\dots 19$$

El gasto Q_{oij} es el gasto estimado si se trata de la primera iteración, o el gasto corregido de la iteración previa para las demás iteraciones.

$$\sum_{j=1}^{NTi} k'_{ij} Q_{ij} = 0 \dots\dots\dots 20$$

Si en el circuito existe una bomba esta última ecuación cambia a:

$$\sum_{j=1}^{NTi} k'_{ij} Q_{ij} = H_B \dots\dots\dots 21$$

Las NC ecuaciones, una para cada circuito, se combinan con las n ecuaciones de continuidad (una de las cuales es redundante, luego en realidad se utilizan n-1 ecuaciones) para formar un sistema de NT = NC + NU – 1 ecuaciones lineales. Es fácil demostrar que NT es el número de tubos de la red. Es decir, se tiene una ecuación para cada tubo y la incógnita para ellas es el gasto. Las cargas de los nodos pueden ser calculadas, si se requieren, posteriormente.

Para utilizar las ecuaciones anteriores se debe superponer un gasto inicial en cada tubo. Una de las grandes ventajas del método de la teoría lineal radica en que al no tener éstos que cumplir la ecuación de continuidad en el nodo no se requiere tiempo para la preparación de datos iniciales.

El gasto inicial puede ser supuesto igual para todos los tubos: por ejemplo, $Q=10$ l/s para todo t_i . Esta situación no afecta la velocidad de convergencia.

Para obtener los k'_{ij} en cada iteración se utilizan las siguientes ecuaciones:

Factor de pérdidas:

$$k_{ij} = \frac{\sum k_{mij} + f_{ij} \frac{L_{ij}}{d_{ij}}}{2g A_{ij}^2} \dots\dots\dots 22$$

Ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k_{sij}}{3.7 d_{ij}} + \frac{2.51}{Re_{ij} \sqrt{f}} \right) \dots\dots\dots 23$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{V_{ij} d_{ij}}{\nu} = \frac{4 Q_{o_{ij}}}{\pi d_{ij} \nu} \dots\dots\dots 24$$

Junto con la ecuación 19:

$$k'_{ij} = k_{ij} Q_{o_{ij}} \dots\dots\dots 19'$$

Al observar que en todos los procesos de cálculo de redes (Hardy-Cross, Newton-Raphson, etc.) los valores de gastos en cada tubo convergen por encima de y por debajo, sucesivamente, al gasto final, Wood propuso que el gasto de la siguiente iteración (k+1) no fuera el calculado en la iteración anterior (k), sino el siguiente:

$$Q_{o_{ijk+1}} = \frac{Q_{o_{ijk}} + Q_{ijk}}{2} \dots\dots\dots 25$$

Esta última ecuación acelera de manera considerable el proceso de convergencia.

PROYECTO

A continuación, se presentan los resultados finales obtenidos mediante éste método, después de siete iteraciones.

TRAMO TUBERÍA	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
LONGITUD (m)	129.99	44.22	36.09	40.98	482.68	212.68	55.67	27.95	127.50	31.77	54.83	130.49	305.62	128.40
DIÁMETRO (pulgadas)	2"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	0.5"	1"	1"	2"	1"	1"	1"
Q (lps)	0.88	0.38	0.33	0.29	0.26	0.41	0.22	0.06	0.20	0.31	0.76	0.37	0.41	0.32
VELOCIDAD m/s	0.44	0.75	0.65	0.56	0.52	0.81	0.44	0.49	0.39	0.61	0.38	0.70	0.79	0.62

NODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
COTAS PIEZOMÉTRICAS	927.92	927.18	925.60	924.61	923.77	915.16	923.80	924.54	925.56	926.92	927.70
COTAS TERRENO	912.93	914.73	915.39	915.24	914.61	903.05	907.12	907.40	907.41	912.30	912.94
PRESIÓN (m.c.a)	14.99	12.45	10.21	9.37	9.16	12.11	16.69	17.14	18.15	14.62	14.76

Nota: La hoja de cálculo de las iteraciones para la obtención de gastos por este método se presentan en el anexo B.

IV.4.5 Cálculo hidráulico mediante el software de análisis para redes hidráulicas EPANET.

La tecnología actual se desarrolla de tal manera que en lapsos muy cortos (3 años o menos) se presentan nuevos equipos, más rápidos, de mayor capacidad y confiabilidad, y a precios comparativamente menores, por lo que, el criterio de selección ya no es preponderante el hardware sino el software.

La informática permite incrementar radicalmente la eficiencia y competitividad de nuestro trabajo, o descargándonos de los trabajos rutinarios y repetitivos, permitiendo explorar diversas ideas y soluciones rápidamente y, sobre todo, proporcionando el tiempo necesario para desarrollar soluciones más creativas. Su correcta utilización implica considerarla como una poderosa herramienta y no como sustituto del criterio o experiencia del ingeniero, sobre todo en la toma de decisiones.

En los años 80's, 90's y 2000 han aparecido nuevos programas para el diseño de redes con mayores capacidades, rutinas de simulación estática o dinámica, así como un mejor manejo de la base de datos (compatible con otros programas), gráficas, cálculo de costo de bombeo, diseño de redes y rutinas de dimensionamiento óptimo de tuberías. Así mismo, algunos programas han combinado las capacidades de manejo de mapas computarizados, bases de datos y análisis de la red, así como el análisis mejorado de la demanda contra incendio y el reporte de resultados de bases de datos.

También han aparecido programas auxiliares o utilerías que comparten información con programas de análisis de redes como sistemas para el manejo de información geográfica (Geographic Information Systems, GIS), sistemas de diseño asistido por computadora (Computer Assisted Design, CAD) y otros que utilizan los datos y resultados del análisis de redes para elaborar gráficas, planos y reportes correspondientes a la red de tuberías, presiones, gastos y comparación de alternativas.

EPANET es un programa desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, Environmental Protection Agency), para el estudio y análisis del comportamiento de redes hidráulicas a presión.

EPANET utiliza la metodología de la teoría lineal para la asociación matemática de la red, además, el programa cuenta con un modulo para el seguimiento de la calidad del agua a través de la red, el cual permite monitorear el aumento o decaimiento de una sustancia (conservativa o no conservativa) a lo largo de la red.

Es un programa de computadora que realiza simulaciones en periodos prolongados del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en las redes de suministro a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. EPANET efectúa un seguimiento de la evolución de los gastos en las tuberías, presiones en los nudos, los niveles en los depósitos, y la concentración de las sustancias químicas presentes en el agua, a lo largo de un periodo de simulación discretizado en múltiples intervalos de tiempo.

Este programa computacional se ha concebido como una herramienta de investigación y trabajo para mejorar nuestro conocimiento sobre el avance y destino final de las diversas sustancias transportadas por el agua, mientras esta viaja por la red de distribución. Entre sus diferentes aplicaciones pueden citarse:

- El diseño de programas de muestreo
- La calibración de un modelo hidráulico
- El análisis del cloro residual
- Se pueden evaluar diferentes estrategias para mejorar la red en cuanto a las fugas con un mejor manejo de las presiones
- Mejorar la calidad del agua a lo largo del sistema
- Evaluar la toma de agua de diferentes fuentes de suministro
- Modificar el régimen de bombeo, vaciado o llenado de los depósitos,
- Implantar estaciones de tratamiento secundarias, tales como estaciones de recloración o depósitos intermedios
- Establecer planes de limpieza y reposición de las tuberías

EPANET proporciona un entorno integrado bajo el ambiente Windows, para edición de los datos de entrada a la red, la realización de simulaciones hidráulicas y de la calidad del agua, y la visualización de los resultados bajo una amplia variedad de formatos. Entre éstos se incluyen mapas de la red codificados por colores, tablas numéricas, gráficas de evolución y mapas de isocóncitos.

EPANET contiene un simulador hidráulico muy avanzado el cual ofrece las siguientes prestaciones:

- No existe límite en cuanto al tamaño de la red que puede procesarse las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach y Chezy- Manning.

- Contempla pérdidas menores en codos, accesorios, etc.
- Admite bombas de velocidad fija o variable.
- Permite considerar varios tipos de válvulas, tales como válvulas de corte, de retención, y reguladoras de presión o gasto.
- Permite considerar diferentes tipos de demanda en los nudos, cada uno con su propia curva de demanda durante cierto tiempo.
- Permite modelar tomas de agua cuyo gasto dependa de la presión (por ejemplo rociadores).
- Admite leyes de control simples, basadas en el valor del nivel en los depósitos o en la hora fijada por un temporizador.
- La posibilidad de realizar una animación, mostrando sobre el esquema de la red, los valores de la variable elegida codificados por colores con funciones de pausa para una mejor capacidad para la visualización de los datos y los resultados.

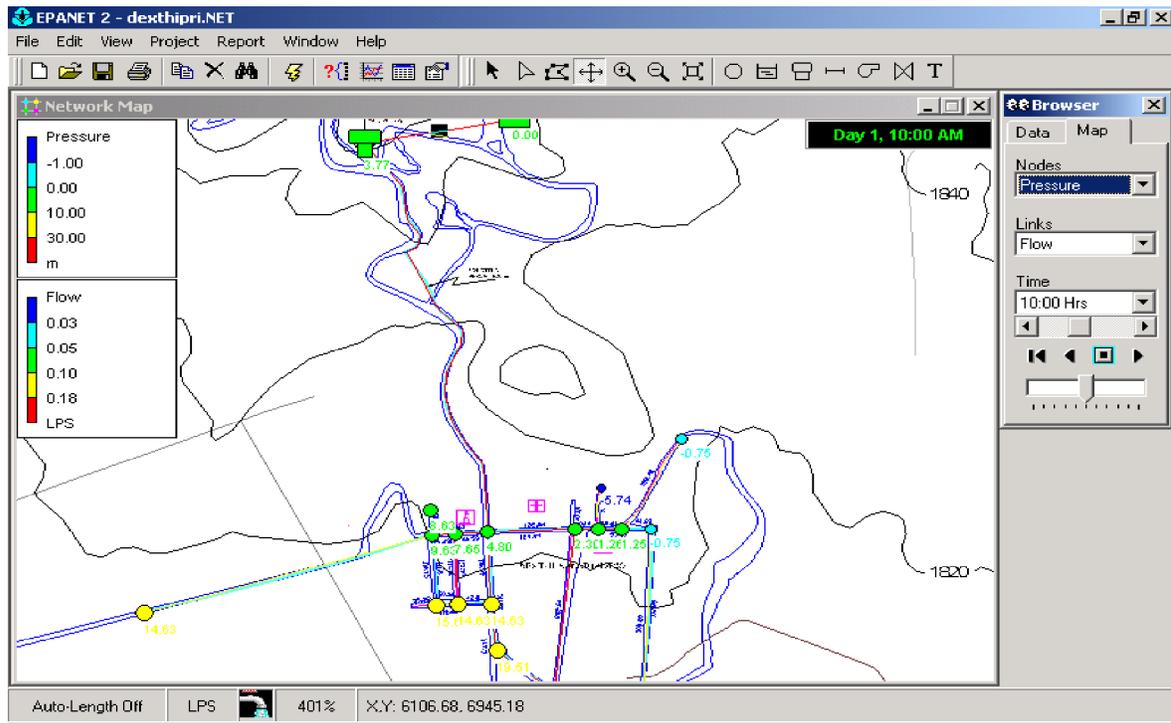


Fig. IV.3 Gráficos software EPANET.

A fin de llevar a cabo la elaboración del modelo base, que contiene las características físicas del sistema de tuberías, conviene esquematizar la red. Para ello se trazan en un dibujo las tuberías representándolas con líneas, así mismo se ubican y simbolizan instalaciones hidráulicas tales como tanques, pozos, estaciones de bombeo y válvulas de control (en general, instalaciones o dispositivos que intervengan en el funcionamiento hidráulico de la red). En este esquema conviene indicar las elevaciones o cotas topográficas de: extremos de tuberías(en uniones y libres), estaciones de bombeo, pozos, tanques y válvulas de control; así como diámetros de tuberías y niveles de operación de tanques. También es útil anotar los diámetros y las longitudes de las tuberías entre nodos.

En general, durante la captura de datos conviene realizar las siguientes actividades:

En tuberías :

- Asignar un número de identificación
- Establecer la longitud entre los nudos
- Determinar el diámetro y coeficiente de rugosidad de cada segmento.

Para los nodos:

- Asignar un número de identificación
- Establecer la cota topográfica o elevación superficial.

En las estaciones de bombeo y rebombes:

- Asignar nodos o segmentos de línea a cada instalación
- Establecer la curva característica de cada bomba.
- Definir los niveles de operación de bombas(presión o elevación)
- Establecer la elevación en cada bomba.
- Identificar y asignar valores a pérdidas menores en la estación de bombeo (o modificar la curva característica)

Para válvulas de control o reguladoras:

- Asignar nodos o segmentos de línea a cada instalación.
- Determinar las disposiciones de operación (gasto o presión) tanto aguas arriba como aguas abajo.
- Establecer las cotas superficiales en cada válvula.

PROYECTO

En almacenamientos:

- Asignar la localización del nodo.
- Definir la capacidad, dimensiones, gasto y rango de operación.
- Establecer la cota topográfica y elevación del nivel del agua en el tanque para cada almacenamiento.

Los programas de redes tienen limitaciones de acuerdo al número de nodos y de tubos que pueden analizar o en cuanto a la computadora en que se puede utilizar. Se observa que de acuerdo al tamaño de la red a analizar se requiere mayor cantidad de memoria de computadora, velocidad y tiempo de procesamiento. En algunos casos puede ser necesario reducir la red en cuanto al número de nodos o de tuberías, ya sea excluyendo tuberías de diámetros pequeños o dividiendo la red en zonas de presión. Algunos programas pueden fragmentar la red, analizar los fragmentos y posteriormente modelar el análisis combinado de la red en conjunto.

A continuación, se presentan los resultados finales obtenidos mediante éste paquete de computo.

TRAMO TUBERÍA	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
LONGITUD (m)	129.99	44.22	36.09	40.98	482.68	212.68	55.67	27.95	127.50	31.77	54.83	130.49	305.62	128.40
DIÁMETRO (pulgadas)	2"	1"	1"	1"	1"	1"	1"	0.5"	1"	1"	2"	1"	1"	1"
Q (lps)	0.88	0.38	0.33	0.29	0.26	0.41	0.22	0.06	0.20	0.31	0.76	0.37	0.41	0.32
VELOCIDAD m/s	0.44	0.75	0.65	0.56	0.52	0.81	0.44	0.49	0.39	0.61	0.38	0.70	0.79	0.62

NODO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
COTAS PIEZOMÉTRICAS	927.06	926.43	925.08	924.24	923.50	915.98	923.42	924.07	924.97	926.19	926.86
COTAS TERRENO	912.93	914.73	915.39	915.24	914.61	903.05	907.12	907.40	907.41	912.30	912.94
PRESIÓN (m.c.a)	14.13	11.70	9.69	9.00	8.89	12.93	16.30	16.67	17.56	13.89	13.92

Nota: Los resultados del proceso iterativo del software de análisis para redes hidráulicas EPANET se presentan en el anexo C.

IV.4.6 Comparación entre los métodos utilizados.

Realizando una comparativa de los resultados obtenidos con los tres métodos utilizados anteriormente, obtenemos la siguiente tabla:

Gastos en tuberías	Cross (lps)	Lineal (lps)	Epanet (lps)
Q 1-2	0.88	0.88	0.88
Q 2-3	0.38	0.38	0.38
Q 3-4	0.33	0.33	0.33
Q 4-5	0.28	0.29	0.28
Q 5-6	0.26	0.26	0.26
Q 6-7	0.41	0.41	0.41
Q 7-8	0.22	0.22	0.22
Q 8-9	0.06	0.06	0.06
Q 9-10	0.20	0.20	0.20
Q 10-11	0.31	0.31	0.31
Q 1-11	0.76	0.76	0.76
Q 1-7	0.36	0.37	0.36
Q 2-6	0.40	0.41	0.40
Q 11-8	0.31	0.32	0.31

Tabla IV.4 Gastos por tramo de tubería

Velocidad en tuberías	Cross (m/s)	Lineal (m/s)	Epanet (m/s)
V 1-2	0.44	0.43	0.43
V 2-3	0.75	0.75	0.75
V 3-4	0.65	0.64	0.64
V 4-5	0.56	0.55	0.55
V 5-6	0.52	0.51	0.51
V 6-7	0.81	0.81	0.81
V 7-8	0.44	0.43	0.43
V 8-9	0.49	0.46	0.47
V 9-10	0.39	0.39	0.39
V 10-11	0.61	0.61	0.61
V 1-11	0.38	0.37	0.37
V 1-7	0.70	0.71	0.71
V 2-6	0.79	0.80	0.80
V 11-8	0.62	0.62	0.62

Tabla IV.5 Velocidades por tramo de tubería

Presión en nodo (m.c.a)	Cross (m.c.a)	Lineal (m.c.a)	Epanet (m.c.a)
N-1	14.97	14.97	14.13
N-2	12.42	12.42	11.70
N-3	10.18	10.18	9.69
N-4	9.35	9.35	9.00
N-5	9.13	9.13	8.89
N-6	12.09	12.09	12.93
N-7	16.67	16.67	16.30
N-8	17.11	17.11	16.67
N-9	18.12	18.12	17.56
N-10	14.60	14.60	13.89
N-11	14.73	14.73	13.92

Tabla IV.6 Presión en cada nodo de la red.

Se comprobaron y compararon los resultados obtenidos del análisis hidráulico de la red de abastecimiento de agua potable mediante métodos analíticos con respecto al software de análisis de redes hidráulicas EPANET, resultando valores con diferencias mínimas por lo cual podemos concluir que dichos métodos se desarrollaron satisfactoriamente.

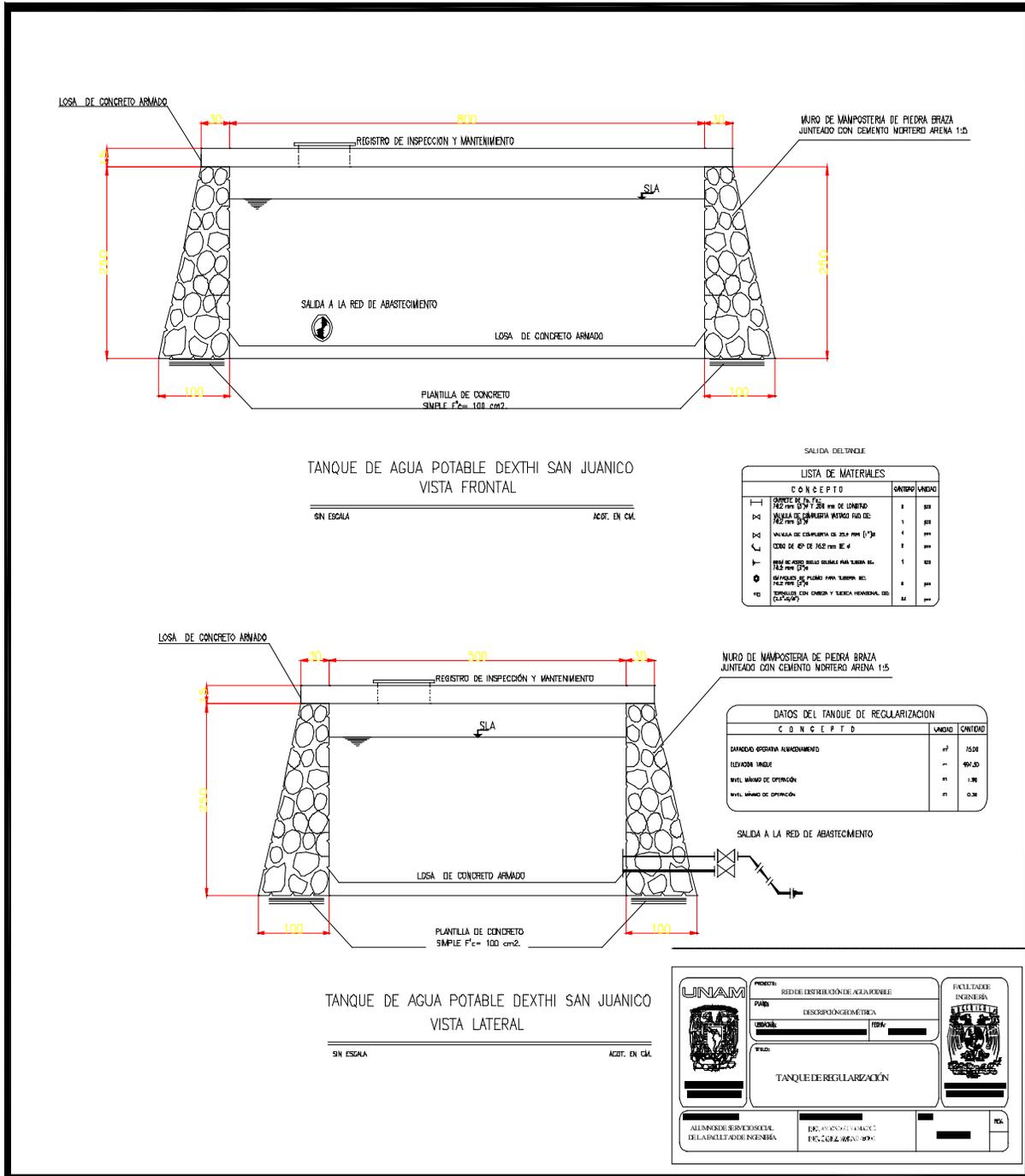
IV.4.7 Planos y especificaciones constructivas

IV.4.7.1 Localización y detalle geométrico del tanque de regularización.

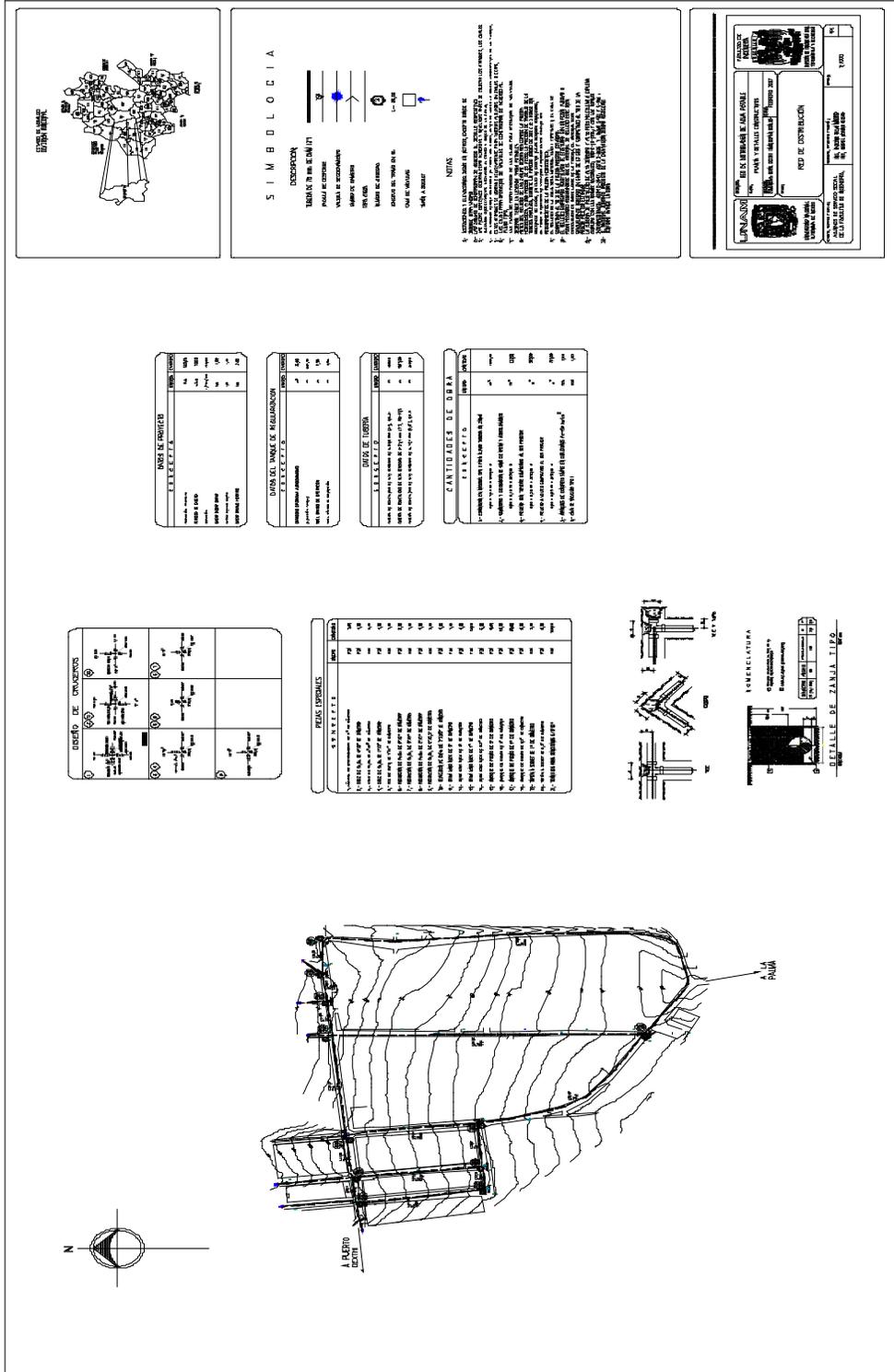
IV.4.7.2 Levantamiento topográfico, planta, perfil y detalles constructivos de la línea de alimentación, así como detalle de la caja de válvulas tipo 1.

IV.4.7.3 Levantamiento topográfico, planta y detalles constructivos de la red de distribución.

IV.4.7.1 Localización y detalle geométrico del tanque de regularización.



IV.4.7.3 Levantamiento topográfico, planta y detalles constructivos de la red de distribución.



IV.5 Comentarios de diseño

En este diseño buscamos brindarle a la comunidad el máximo beneficio posible al mínimo costo en cuanto a recursos materiales, sin descuidar los elementos que lo harán un proyecto viable.

Para el diseño del trazo de la línea de alimentación, no se propuso la alternativa más corta, debido a la problemática que puede ocasionar la negociación para obtener la autorización del derecho de paso de la conducción por propiedad privada, con lo cual trazamos la línea de alimentación por un camino de terracería de la comunidad.

Debido a que la topografía en el perfil de la línea de alimentación es descendente en todo su trayecto y no se presentan cambios de signo en las pendientes donde pueda haber acumulación de aire o azolves, se decidió no instalar válvulas de admisión y expulsión de aire y de desfogue.

Se eligió tubería de polietileno de alta densidad debido a las múltiples ventajas que ofrece este tipo de material como: hermeticidad, alta capacidad de conducción, inmunidad a la corrosión, resistencia química, ligereza, flexibilidad y no altera la calidad del agua.

También ofrece una gran facilidad de instalación por su presentación en rollos para el diámetro de diseño (75 mm), el cual requiere sólo una unión en tramos largos con lo cual se agiliza su instalación además de su gran compatibilidad en piezas especiales así como su durabilidad con mantenimiento mínimo, tiene una vida útil de 50 años.

Se consideraron en el perfil dos cajas rompedores de presión con objeto de disminuir la carga piezométrica que soporta la tubería en todo su trayecto y así reducir el espesor y por consecuencia su costo además de regular las presiones de agua en la línea de acuerdo a los parámetros establecidos por la Comisión Nacional del Agua.

V. EVALUACIÓN ECONÓMICA

V. Evaluación Económica

V.1 Catálogo de Conceptos y Presupuesto

OBRA: PROYECTO DEL SISTEMA DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.
LUGAR: COMUNIDAD RURAL DEL DEXTHÍ EN EL MUNICIPIO DE IXMIQUILPAN, ESTADO DE HIDALGO
NOTA: El presente presupuesto está considerado a costo directo Los precios no incluyen costos indirectos ni I.V.A.

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
1	Trazo y nivelación para obras hidráulicas, con equipo de topografía, incluye nivelación para obras hidráulicas, con equipo de topografía, incluye materiales para señalamiento.	m2	2,970.00	3.39	10,068.30
2	Excavación por medios mecánicos para formación de zanjas en terreno seco con ancho de zanja menores o iguales a 1.20m , clase II, medido en banco, con acarreo libre , de 0.00 a 2.00 m de profundidad.	m3	1,870.60	42.49	79,481.79
3	Cama de arena para asiento de ductos, incluye: acarreo libre a 20.00 m.	m3	177.60	231.40	41,096.64
4	Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad de 76.2mm (3") de diámetro RD-32.5., Incluye: alineación, corte, unión a tope por termofusión y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m	935.00	78.68	73,565.80
5	Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad de 50.8mm (2") de diámetro RD-21., Incluye: alineación, corte, unión a tope por termofusión y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m	195.00	37.97	7,404.15
6	Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad de 25.4mm (1") de diámetro RD-13.5., Incluye: alineación, corte, unión a tope por termofusión y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m	1675.00	29.21	48,926.75
7	Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad de 12.70mm (0.5") de diámetro RD-9., Incluye: alineación, corte, unión a tope por termofusión y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m	230.00	24.83	5,510.90
8	Suministro e instalación de tubería de acero al carbón de 3" de diámetro cedula 30, incluye: alineación, corte, soldadura, esmerilado y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m	130.00	368.29	47,877.70
9	Prueba hidrostática para tubería de distintos materiales y diámetros, incluye: bomba, accesorios y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m	2,970.00	6.45	19,156.50
10	Tomas domiciliarias, suministro, instalación y pruebas de toma domiciliaría, incluye abrazadera de PEAD. con derivación roscada de 50 x13 mm, válvula de inserción, adaptador de compresión y 6 m de tubo de PEAD, de 13 mm de diámetro.	toma	115.00	335.59	38,592.85

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
11	Relleno de zanjas con tepetate compactado al 90% de la prueba proctor estándar, medido compacto, incluye: incorporación de agua, acarreo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m3	533.00	238.96	127,365.68
12	Relleno de zanjas con material a volteo producto de la excavación, compactado al 90% de la prueba proctor estándar, medido compacto, incluye: incorporación de agua, acarreo y todo lo necesario para su correcta ejecución.	m3	1,160.00	48.38	56,120.80
13	Construcción de atraque de concreto de f'c=150 kg/cm ² de 0.50 x 0.20 x 0.20 m, incluye: mano de obra, materiales y todo lo necesario para su correcta ejecución.	pza	8.00	62.36	498.88
14	Construcción de caja de válvulas tipo 1 para operación de válvulas de agua potable, con muro de tabique aplanado pulido, cubierta de concreto f'c=200 kg/cm ² , acero de refuerzo, incluye: excavación, marco, contramarco y tapa de fierro fundido y todo lo necesario para su correcta ejecución.	pza	1.00	10,069.99	10,069.99
15	Construcción de caja rompedora de presión para tubería de agua potable de 3" de diámetro, con muro de tabique aplanado pulido, cubierta de concreto f'c=200 kg/cm ² , acero de refuerzo, incluye: excavación, marco, contramarco, tapa de fierro fundido, accesorios y todo lo necesario para su correcta ejecución.	pza	1.00	10,069.99	10,069.99

Salida del tanque de regularización

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
16	Suministro y colocación de carrete de fo. fo.: 76.2 mm (3")φ y 250 mm de longitud	pza	3.00	801.15	2,403.45
17	Suministro y colocación de valvula de compuerta vastago fijo de 76.2 mm (3") diámetro.	pza	1.00	1,986.02	1,986.02
18	Suministro y colocación de válvula de compuerta de 25.4 mm (1") de diámetro.	pza	1.00	1,636.95	1,636.95
19	Suministro y colocación de codo de 45° de 76.2 mm de diámetro.	pza	2.00	248.64	497.28
20	Suministro y colocación de brida de acero cuello soldable para tubería de: 76.2 mm (3") de diámetro.	pza	1.00	383.32	383.32
21	Suministro y colocación de empaques de plomo para tubería de: 76.2 mm (3") de diámetro.	pza	6.00	36.12	216.72
22	Suministro y colocación de tornillos con cabeza y tuerca hexagonal de: (2.5"x5/8")	pza	24.00	9.50	228.00

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Piezas especiales para la línea de alimentación y red de distribución.

Código	Concepto	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Importe
34	Suministro y colocación de válvula de seccionamiento de 3" de diámetro.	pza	1.00	1,872.47	1,872.47
35	Suministro y colocación de cruz de fo.fo. de 3"x3" de diámetro	pza	1.00	967.95	967.95
36	Suministro y colocación de cruz de fo.fo. de 2"x2" de diámetro	pza	2.00	600.59	1,201.18
37	Suministro y colocación de cruz de fo.fo. de 1"x1" de diámetro	pza	1.00	461.99	461.99
38	Suministro y colocación de tee de fo.fo. de 1"x1" de diámetro	pza	7.00	401.62	2,811.34
39	Suministro y colocación de reducción de fo.fo. de 3"x2" de diámetro	pza	2.00	376.92	753.84
40	Suministro y colocación de reducción de fo.fo. de 3"x1" de diámetro	pza	1.00	289.94	289.94
41	Suministro y colocación de reducción de fo.fo. de 2"x1" de diámetro	pza	4.00	250.74	1,002.96
42	Suministro y colocación de reducción de fo.fo. de 2"x0.5" de diámetro	pza	2.00	210.87	421.74
23	Suministro y colocación de reducción de fo.fo. de 1"x0.5" de diámetro	pza	4.00	185.90	743.60
24	Suministro y colocación de brida y contrabrida long neck de 3" de diámetro	pza	2.00	383.32	766.64
25	Suministro y colocación de brida y contrabrida long neck de 2" de diámetro	pza	4.00	274.59	1,098.36
26	Suministro y colocación de brida y contrabrida long neck de 1" de diámetro	pza	24.00	204.13	4,899.12
27	Suministro y colocación de brida y contrabrida long neck de 0.5" de diámetro	pza	6.00	156.36	938.16
28	Suministro y colocación de empaque de plomo de 3" de diámetro	pza	5.00	36.11	180.55
29	Suministro y colocación de empaque de plomo de 2" de diámetro	pza	10.00	33.23	332.30
30	Suministro y colocación de empaque de plomo de 1" de diámetro	pza	30.00	26.62	798.60
31	Suministro y colocación de empaque de plomo de 0.5" de diámetro	pza	6.00	20.08	120.48
32	Suministro y colocación de tapón a socket de 1" de diámetro	pza	2.00	26.65	53.30
33	Suministro y colocación de tapón a socket de 0.5" de diámetro	pza	6.00	19.76	118.56
34	Suministro y colocación de tornillos para conexiones 5/8"x3"	pza	144.00	9.50	1,368.00
Total				=	694,652.58

VI. CONCLUSIONES

VI. CONCLUSIONES

Durante las visitas de campo que realizamos a la comunidad rural identificamos las necesidades principales de la población y desarrollamos una propuesta técnica y económica óptima, satisfaciendo una de las mayores prioridades de los habitantes.

Aplicamos e integramos los conocimientos de diversas áreas de la ingeniería civil, adquiridos en esta facultad, desde la organización de brigadas y planeación de proyecto, levantamientos topográficos, recopilación de información, adopción de criterios de diseño, cálculos hidráulicos hasta el análisis de resultados.

De la interacción con otras disciplinas se establecieron vínculos de retroalimentación de conocimiento que nos crearon otras perspectivas sociales y culturales que fortalecen nuestro desarrollo personal y profesional.

Gracias al acercamiento y convivencia que tuvimos con la comunidad nos dimos cuenta de las grandes necesidades que existen en las poblaciones rurales de nuestro país y gracias a este programa de vinculación profesional tuvimos la oportunidad de aplicar nuestros conocimientos en beneficio de la sociedad.

ANEXO A

Cálculo Hidráulico por el método de Hardy Cross.

ANEXOS

Cálculo Hidráulico por el método de Hardy Cross

CIRCUITO		TRAMO	LONGITUD	Q	DIÁM	Hf	H/Q	CORRECCIÓN			Q1	H1	H1/Q1	CORRECCIÓN			Q2	H2	H2/Q2	CORRECCIÓN			
PROP	COMÚN		(m)	(lps)	(pulg)	(m)		PROP	COMÚN	TOTAL	(lps)	(m)		PROP	COMÚN	TOTAL	(lps)	(m)		PROP	COMÚN	TOTAL	
		T																					
		T-1	246.92	2.000	3	0.783					2.00	0.7826											
I	-	1,2	129.99	0.670	2	0.449	0.671	0.185	0.000	0.185	0.855	0.705	0.825	-0.028	0.000	-0.028	0.827	0.663	0.802	0.052	0.000	0.052	
I	II	2,6	305.62	0.286	1	6.383	22.328	0.185	-0.009	0.176	0.462	15.505	33.584	-0.028	-0.079	-0.107	0.354	9.505	26.815	0.052	0.015	0.066	
I	-	6,7	212.68	-0.623	1	-18.789	30.164	0.185	0.000	0.185	-0.438	-9.802	22.361	-0.028	0.000	-0.028	-0.466	-	23.570	0.052	0.000	0.052	
I	III	7,1	130.49	-0.660	1	-12.832	19.442	0.185	0.176	0.361	-0.299	-2.961	9.904	-0.028	-0.082	-0.110	-0.409	-5.294	12.938	0.052	0.035	0.086	
						-24.788	72.604					3.447	66.675					-6.117	64.125				
							0.185						-0.028						0.052				
II	-	2,3	44.22	0.286	1	0.924	3.231	0.009	0.000	0.009	0.295	0.977	3.315	0.079	0.000	0.079	0.374	1.518	4.061	-0.015	0.000	-0.015	
II	-	3,4	36.09	0.234	1	0.519	2.221	0.009	0.000	0.009	0.242	0.556	2.291	0.079	0.000	0.079	0.322	0.938	2.916	-0.015	0.000	-0.015	
II	-	4,5	40.98	0.188	1	0.395	2.099	0.009	0.000	0.009	0.197	0.430	2.182	0.079	0.000	0.079	0.276	0.804	2.909	-0.015	0.000	-0.015	
II	-	5,6	482.68	0.166	1	3.700	22.237	0.009	0.000	0.009	0.175	4.069	23.232	0.079	0.000	0.079	0.254	8.124	31.929	-0.015	0.000	-0.015	
II	I	6,2	305.62	-0.286	1	-6.383	22.328	0.009	-0.185	-0.176	-0.462	-15.505	33.584	0.079	0.028	0.107	-0.354	-9.505	26.815	-0.015	-0.052	-0.066	
						-0.845	52.115					-9.473	64.604					1.879	68.629				
							0.009						0.079						-0.015				
III	I	1,7	130.49	0.660	1	12.832	19.442	-0.176	-0.185	-0.361	0.299	2.961	9.904	0.082	0.028	0.110	0.409	5.294	12.938	-0.035	-0.052	-0.086	
III	-	7,8	55.67	-0.132	1	-0.277	2.103	-0.176	0.000	-0.176	-0.308	-1.337	4.337	0.082	0.000	0.082	-0.226	-0.752	3.329	-0.035	0.000	-0.035	
III	IV	8,11	128.40	-0.267	1	-2.355	8.835	-0.176	0.020	-0.157	-0.423	-5.545	13.102	0.082	0.057	0.139	-0.284	-2.646	9.322	-0.035	-0.029	-0.063	
III	-	11,1	54.83	-0.670	2	-0.190	0.283	-0.176	0.000	-0.176	-0.846	-0.292	0.345	0.082	0.000	0.082	-0.764	-0.242	0.316	-0.035	0.000	-0.035	
							10.010					-4.213	27.687					1.654	25.906				
							-0.176						0.082						-0.035				
IV	III	11,8	128.40	0.267	1	2.355	8.835	-0.020	0.176	0.157	0.423	5.545	13.102	-0.057	-0.082	-0.139	0.284	2.646	9.322	0.029	0.035	0.063	
IV	-	8,9	27.95	-0.018	0.5	-0.103	5.691	-0.020	0.000	-0.020	-0.038	-0.404	10.671	-0.057	0.000	-0.057	-0.095	-2.220	23.367	0.029	0.000	0.029	
IV	-	9,10	127.50	-0.155	1	-0.856	5.526	-0.020	0.000	-0.020	-0.175	-1.069	6.122	-0.057	0.000	-0.057	-0.232	-1.806	7.791	0.029	0.000	0.029	
IV	-	10,11	31.77	-0.267	1	-0.583	2.186	-0.020	0.000	-0.020	-0.286	-0.665	2.324	-0.057	0.000	-0.057	-0.343	-0.932	2.713	0.029	0.000	0.029	
						0.813	22.239					3.406	32.218					-2.312	43.194				
							-0.020						-0.057						0.029				

ANEXOS

Q3	H3	H3/Q3	CORRECCIÓN			Q4	H4	H4/Q4	CORRECCIÓN			Q5	H5	H5/Q5	CORRECCIÓN		
			PROP	COMÚN	TOTAL				PROP	COMÚN	TOTAL				(lbs)	(m)	PROP
							0.7557										
0.878	0.742	0.845	-0.013	0.000	-0.013	0.865	0.721	0.834	0.016	0.000	0.016	0.881	0.747	0.847	-0.004	0.000	-0.004
0.421	13.061	31.036	-0.013	-0.021	-0.034	0.386	11.156	28.865	0.016	0.006	0.022	0.408	12.351	30.248	-0.004	-0.007	-0.011
-0.415	-8.847	21.331	-0.013	0.000	-0.013	-0.428	-9.368	21.900	0.016	0.000	0.016	-0.412	-8.720	21.189	-0.004	0.000	-0.004
-0.323	-3.419	10.580	-0.013	-0.035	-0.048	-0.371	-4.419	11.906	0.016	0.009	0.025	-0.346	-3.886	11.223	-0.004	-0.011	-0.015
	1.537	63.792					-1.910	63.505					0.492	63.508			
		-0.013						0.016						-0.004			
0.359	1.409	3.923	0.021	0.000	0.021	0.380	1.568	4.121	-0.006	0.000	-0.006	0.375	1.525	4.069	0.007	0.000	0.007
0.307	0.860	2.801	0.021	0.000	0.021	0.328	0.974	2.966	-0.006	0.000	-0.006	0.323	0.943	2.923	0.007	0.000	0.007
0.262	0.726	2.776	0.021	0.000	0.021	0.283	0.840	2.968	-0.006	0.000	-0.006	0.277	0.809	2.918	0.007	0.000	0.007
0.240	7.270	30.339	0.021	0.000	0.021	0.261	8.513	32.624	-0.006	0.000	-0.006	0.255	8.179	32.029	0.007	0.000	0.007
-0.421	-13.061	31.036	0.021	0.013	0.034	-0.386	-11.156	28.865	-0.006	-0.016	-0.022	-0.408	-12.351	30.248	0.007	0.004	0.011
	-2.796	70.875					0.739	71.543					-0.894	72.187			
		0.021						-0.006						0.007			
0.323	3.419	10.580	0.035	0.013	0.048	0.371	4.419	11.906	-0.009	-0.016	-0.025	0.346	3.886	11.223	0.011	0.004	0.015
-0.261	-0.979	3.758	0.035	0.000	0.035	-0.226	-0.749	3.323	-0.009	0.000	-0.009	-0.234	-0.803	3.431	0.011	0.000	0.011
-0.347	-3.844	11.070	0.035	0.007	0.042	-0.305	-3.022	9.910	-0.009	-0.010	-0.018	-0.323	-3.366	10.414	0.011	0.002	0.013
-0.799	-0.262	0.329	0.035	0.000	0.035	-0.764	-0.242	0.316	-0.009	0.000	-0.009	-0.772	-0.247	0.319	0.011	0.000	0.011
	-1.667	25.737					0.406	25.456					-0.530	25.387			
		0.035						-0.009						0.011			
0.347	3.844	11.070	-0.007	-0.035	-0.042	0.305	3.022	9.910	0.010	0.009	0.018	0.323	3.366	10.414	-0.002	-0.011	-0.013
-0.066	-1.133	17.149	-0.007	0.000	-0.007	-0.073	-1.376	18.749	0.010	0.000	0.010	-0.064	-1.059	16.626	-0.002	0.000	-0.002
-0.203	-1.411	6.954	-0.007	0.000	-0.007	-0.210	-1.506	7.167	0.010	0.000	0.010	-0.201	-1.381	6.885	-0.002	0.000	-0.002
-0.314	-0.792	2.517	-0.007	0.000	-0.007	-0.322	-0.826	2.567	0.010	0.000	0.010	-0.312	-0.781	2.501	-0.002	0.000	-0.002
	0.509	37.691					-0.686	38.393					0.145	36.427			
		-0.007						0.010						-0.002			

ANEXOS

Q6	H6	H6/Q6	CORRECCIÓN			Q7	H7	H7/Q7	CORRECCIÓN			Q8	H8	H8/Q8	CORRECCIÓN		
			PROP	COMÚN	TOTAL				PROP	COMÚN	TOTAL				(lbs)	(m)	
0.877	0.740	0.844	0.005	0.000	0.005	0.882	0.748	0.848	-0.001	0.000	-0.001	0.881	0.746	0.847	0.002	0.000	0.002
0.397	11.748	29.560	0.005	0.002	0.007	0.404	12.131	30.000	-0.001	-0.002	-0.003	0.401	11.940	29.780	0.002	0.001	0.002
-0.416	-8.885	21.373	0.005	0.000	0.005	-0.410	-8.680	21.145	-0.001	0.000	-0.001	-0.412	-8.732	21.203	0.002	0.000	0.002
-0.362	-4.214	11.649	0.005	0.003	0.008	-0.354	-4.044	11.430	-0.001	-0.004	-0.005	-0.359	-4.150	11.567	0.002	0.001	0.003
	-0.610	63.426					0.156	63.423					-0.196	63.398			
		0.005						-0.001						0.002			
0.382	1.576	4.131	-0.002	0.000	-0.002	0.380	1.563	4.115	0.002	0.000	0.002	0.382	1.579	4.135	-0.001	0.000	-0.001
0.329	0.980	2.974	-0.002	0.000	-0.002	0.328	0.970	2.961	0.002	0.000	0.002	0.330	0.982	2.977	-0.001	0.000	-0.001
0.284	0.846	2.977	-0.002	0.000	-0.002	0.282	0.836	2.962	0.002	0.000	0.002	0.284	0.848	2.981	-0.001	0.000	-0.001
0.262	8.581	32.743	-0.002	0.000	-0.002	0.260	8.475	32.557	0.002	0.000	0.002	0.262	8.604	32.784	-0.001	0.000	-0.001
-0.397	11.748	29.560	-0.002	-0.005	-0.007	-0.404	12.131	30.000	0.002	0.001	0.003	-0.401	-11.940	29.780	-0.001	-0.002	-0.002
	0.234	72.386					-0.287	72.594					0.074	72.658			
		-0.002						0.002						-0.001			
0.362	4.214	11.649	-0.003	-0.005	-0.008	0.354	4.044	11.430	0.004	0.001	0.005	0.359	4.150	11.567	-0.001	-0.002	-0.003
-0.223	-0.733	3.289	-0.003	0.000	-0.003	-0.226	-0.750	3.324	0.004	0.000	0.004	-0.222	-0.728	3.278	-0.001	0.000	-0.001
-0.310	-3.112	10.044	-0.003	-0.003	-0.006	-0.316	-3.223	10.207	0.004	0.001	0.004	-0.311	-3.140	10.086	-0.001	-0.001	-0.002
-0.761	-0.240	0.315	-0.003	0.000	-0.003	-0.764	-0.242	0.316	0.004	0.000	0.004	-0.760	-0.239	0.315	-0.001	0.000	-0.001
	0.129	25.298					-0.170	25.278					0.043	25.246			
		-0.003						0.004						-0.001			
0.310	3.112	10.044	0.003	0.003	0.006	0.316	3.223	10.207	-0.001	-0.004	-0.004	0.311	3.140	10.086	0.001	0.001	0.002
-0.066	-1.127	17.105	0.003	0.000	0.003	-0.063	-1.029	16.403	-0.001	0.000	-0.001	-0.063	-1.052	16.570	0.001	0.000	0.001
-0.203	-1.408	6.948	0.003	0.000	0.003	-0.200	-1.368	6.856	-0.001	0.000	-0.001	-0.200	-1.377	6.878	0.001	0.000	0.001
-0.314	-0.791	2.516	0.003	0.000	0.003	-0.311	-0.776	2.494	-0.001	0.000	-0.001	-0.312	-0.779	2.499	0.001	0.000	0.001
	-0.214	36.613					0.050	35.960					-0.069	36.034			
		0.003						-0.001						0.001			

ANEXOS

Q9 (lps)	H9 (m)	H9/Q9	CORRECCIÓN			Q10 (lps)	H10 (m)	H10/Q10	CORRECCIÓN			Q11 (lps)	H11 (m)	H11/Q11
			PROP	COMÚN	TOTAL				PROP	COMÚN	TOTAL			
												2.00	0.7826	
0.883	0.749	0.848	0.000	0.000	0.000	0.882	0.748	0.848	0.001	0.000	0.001	0.883	0.749	0.848
0.403	12.062	29.921	0.000	-0.001	-0.001	0.402	12.001	29.850	0.001	0.000	0.001	0.403	12.040	29.896
-0.410	-8.667	21.130	0.000	0.000	0.000	-0.411	-8.683	21.149	0.001	0.000	0.001	-0.410	-8.662	21.125
-0.356	-4.094	11.496	0.000	-0.001	-0.002	-0.358	-4.129	11.540	0.001	0.000	0.001	-0.357	-4.111	11.517
	0.050	63.395					-0.063	63.387					0.016	63.386
		0.000						0.001						0.000
0.381	1.575	4.130	0.001	0.000	0.001	0.382	1.580	4.136	0.000	0.000	0.000	0.382	1.579	4.134
0.329	0.979	2.973	0.001	0.000	0.001	0.330	0.983	2.979	0.000	0.000	0.000	0.330	0.982	2.977
0.284	0.845	2.976	0.001	0.000	0.001	0.285	0.849	2.982	0.000	0.000	0.000	0.284	0.848	2.981
0.262	8.571	32.726	0.001	0.000	0.001	0.263	8.613	32.799	0.000	0.000	0.000	0.262	8.602	32.780
-0.403	-12.062	29.921	0.001	0.000	0.001	-0.402	-12.001	29.850	0.000	-0.001	-0.001	-0.403	-12.040	29.896
	-0.093	72.726					0.024	72.746					-0.030	72.768
		0.001						0.000						0.000
0.356	4.094	11.496	0.001	0.000	0.002	0.358	4.129	11.540	0.000	-0.001	-0.001	0.357	4.111	11.517
-0.223	-0.733	3.290	0.001	0.000	0.001	-0.222	-0.726	3.275	0.000	0.000	0.000	-0.222	-0.728	3.279
-0.313	-3.176	10.140	0.001	0.000	0.001	-0.312	-3.149	10.100	0.000	0.000	-0.001	-0.312	-3.161	10.118
-0.761	-0.240	0.315	0.001	0.000	0.001	-0.760	-0.239	0.315	0.000	0.000	0.000	-0.760	-0.239	0.315
	-0.055	25.241					0.014	25.230					-0.018	25.228
		0.001						0.000						0.000
0.313	3.176	10.140	0.000	-0.001	-0.001	0.312	3.149	10.100	0.000	0.000	0.001	0.312	3.161	10.118
-0.062	-1.020	16.341	0.000	0.000	0.000	-0.063	-1.028	16.398	0.000	0.000	0.000	-0.062	-1.018	16.324
-0.199	-1.364	6.848	0.000	0.000	0.000	-0.199	-1.368	6.855	0.000	0.000	0.000	-0.199	-1.363	6.846
-0.311	-0.775	2.492	0.000	0.000	0.000	-0.311	-0.776	2.494	0.000	0.000	0.000	-0.311	-0.774	2.492
	0.017	35.821					-0.022	35.848					0.006	35.779
		0.000						0.000						0.000

TRAMO	NODO	COTAS (m)		CARGA (m)	VELOCIDAD
		PIEZOM.	TERRENO	DISPONIBLE	(m/s)
T		928.68	928.68	0.00	
T-1	1	927.90	912.93	14.97	
1,2	2	927.148	914.730	12.418	0.44
2,6	6	915.108	903.050	12.058	0.79
6,7	7	923.770	907.120	16.650	-0.81
7,1	1	927.881	912.930	14.951	-0.70
2,3	3	925.569	915.390	10.179	0.75
3,4	3	924.588	915.240	9.348	0.65
4,5	5	923.740	914.610	9.130	0.56
5,6	6	915.138	903.050	12.088	0.52
6,2	2	927.178	914.730	12.448	-0.79
1,7	1	923.787	907.120	16.667	0.70
7,8	7	924.514	907.400	17.114	-0.44
8,11	11	927.676	912.940	14.736	-0.62
11,1	1	927.915	912.930	14.985	-0.38
11,8	8	924.514	907.400	17.114	0.62
8,9	9	925.532	907.410	18.122	-0.49
9,10	10	926.896	912.300	14.596	-0.39
10,11	11	927.670	912.940	14.730	-0.61

ANEXO B

Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal.

Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal. Primera iteración

Tubería	Gasto Iniciales $Q_{0\ ijk}$ (m ³ /s)	k_m	f	k_{ij} (s ² /m ⁵)	K'_{ij} (s/m ²)
1-2	0.0010	0.0000	0.0257	815796.71	815.80
2-3	0.0010	0.0000	0.0226	7823612.51	7823.61
3-4	0.0010	0.0000	0.0226	6385214.28	6385.21
4-5	0.0010	0.0000	0.0226	7250376.32	7250.38
5-6	0.0010	0.0000	0.0226	85398039.05	85398.04
6-7	0.0010	0.0000	0.0226	37628356.15	37628.36
7-8	0.0010	0.0000	0.0226	9849400.92	9849.40
8-9	0.0010	0.0000	0.0215	150019576.00	150019.58
9-10	0.0010	0.0000	0.0226	22557905.81	22557.91
10-11	0.0010	0.0000	0.0226	5620899.35	5620.90
11-1	0.0010	0.0000	0.0257	344104.42	344.10
1-7	0.0010	0.0000	0.0226	23086910.82	23086.91
2-6	0.0010	0.0000	0.0226	54071742.55	54071.74
11-8	0.0010	0.0000	0.0226	22717138.09	22717.14

Vector de gastos de entrada y salidas en cada nodo Q_{iijk} (m ³ /s)	
Q 1	-0.002000
Q 2	0.000098
Q 3	0.000052
Q 4	0.000045
Q 5	0.000022
Q 6	0.001074
Q 7	0.000170
Q 8	0.000153
Q 9	0.000137
Q 10	0.000112
Q 11	0.000000
Q 12	0.000000
Q 13	0.000000
Q 14	0.000000

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
11	815.80	0	0	0	0	-37628.36	0	0	0	0	0	-23086.91	54071.74	0
12	0	7823.61	6385.21	7250.38	85398.04	0	0	0	0	0	0	0	-54071.74	0
13	0	0	0	0	0	0	-9849.40	0	0	0	-344.10	23086.91	0	-22717.14
14	0	0	0	0	0	0	0	-150019.58	-22557.91	-5620.90	0	0	0	22717.14

ANEXOS

Inversa de la matriz de configuración de la red de distribución. $[A]^{-1}$

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-0.0017	0.9890	0.9589	0.9344	0.9065	0.5785	0.1482	0.0995	0.0157	0.0031	0	0	0	0
2	-0.0006	-0.0037	0.9376	0.8897	0.8352	0.1944	0.0498	0.0334	0.0053	0.0011	0	0	0	0
3	-0.0006	-0.0037	-0.0624	0.8897	0.8352	0.1944	0.0498	0.0334	0.0053	0.0011	0	0	0	0
4	-0.0006	-0.0037	-0.0624	-0.1103	0.8352	0.1944	0.0498	0.0334	0.0053	0.0011	0	0	0	0
5	-0.0006	-0.0037	-0.0624	-0.1103	-0.1648	0.1944	0.0498	0.0334	0.0053	0.0011	0	0	0	0
6	0.0017	0.0110	0.0411	0.0656	0.0935	0.4215	-0.1482	-0.0995	-0.0157	-0.0031	0	0	0	0
7	0.0072	0.0112	0.0242	0.0348	0.0468	0.1886	0.3745	-0.4201	-0.0664	-0.0133	0	0	0	0
8	0.0008	0.0013	0.0027	0.0039	0.0053	0.0213	0.0423	0.0656	-0.1478	-0.0295	0	0	0	0
9	0.0008	0.0013	0.0027	0.0039	0.0053	0.0213	0.0423	0.0656	0.8522	-0.0295	0	0	0	0
10	0.0008	0.0013	0.0027	0.0039	0.0053	0.0213	0.0423	0.0656	0.8522	0.9705	0	0	0	0
11	-0.9928	-0.9888	-0.9758	-0.9652	-0.9532	-0.8114	-0.6255	-0.4201	-0.0664	-0.0133	0	0	0	0
12	-0.0055	-0.0002	0.0169	0.0308	0.0466	0.2330	0.4773	0.3206	0.0507	0.0101	0	0	0	0
13	-0.0011	-0.0073	0.0213	0.0447	0.0713	0.3841	0.0984	0.0661	0.0105	0.0021	0	0	0	0
14	0.0064	0.0099	0.0215	0.0309	0.0415	0.1673	0.3322	0.5143	0.0813	0.0162	0	0	0	0

Gastos (m ³ /s)	Q _o ijk*[A] ⁻¹	Q= Q _o ijk + Q _{ijk} /2
Q 1-2	0.00088	0.00094
Q 2-3	0.00033	0.00067
Q 3-4	0.00028	0.00064
Q 4-5	0.00023	0.00062
Q 5-6	0.00021	0.00061
Q 6-7	0.00041	0.00071
Q 7-8	0.00018	0.00059
Q 8-9	0.00002	0.00051
Q 9-10	0.00015	0.00058
Q 10-11	0.00026	0.00063
Q 1-11	0.00072	0.00086
Q 1-7	0.00040	0.00070
Q 2-6	0.00045	0.00072
Q 11-8	0.00032	0.00066

ANEXOS

Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal. Segunda iteración.

Tubería	Gasto Iniciales $Q_{0\ ij\ k}$ (m^3/s)	k_m	f	k_{ij} (s^2/m^5)	K'_{ij} (s/m^2)
1-2	0.00094	0.0000	0.0261	827894.2799	776.9802
2-3	0.00067	0.0000	0.0245	8481295.4160	5646.2811
3-4	0.00064	0.0000	0.0247	6979929.7592	4464.5958
4-5	0.00062	0.0000	0.0249	7985942.3640	4927.1934
5-6	0.00061	0.0000	0.0250	94418434.7235	57220.7194
6-7	0.00071	0.0000	0.0242	40284629.3660	28495.2637
7-8	0.00059	0.0000	0.0252	10947917.5833	6470.3938
8-9	0.00051	0.0000	0.0236	165050830.3707	83808.6988
9-10	0.00058	0.0000	0.0253	25210221.3200	14525.5013
10-11	0.00063	0.0000	0.0248	6159959.0530	3892.9406
11-1	0.00086	0.0000	0.0266	356414.6211	306.5935
1-7	0.00070	0.0000	0.0243	24760363.9827	17364.0063
2-6	0.00072	0.0000	0.0241	57620363.5797	41695.1535
11-8	0.00066	0.0000	0.0246	24673916.1479	16275.9232

Vector de gastos de entrada y salidas en cada nodo Q_{oijk} (m^3/s)	
Q 1	-0.002000
Q 2	0.000098
Q 3	0.000052
Q 4	0.000045
Q 5	0.000022
Q 6	0.001074
Q 7	0.000170
Q 8	0.000153
Q 9	0.000137
Q 10	0.000112
Q 11	0.000000
Q 12	0.000000
Q 13	0.000000
Q 14	0.000000

Matriz de configuración de la red de distribución mediante las ecuaciones de continuidad en los nodos y ecuaciones de conservación de la energía en cada circuito de la red. **[A]**

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
11	776.98	0	0	0	0	-28495.26	0	0	0	0	0	-17364.01	41695.15	0
12	0	5646.28	4464.60	4927.19	57220.72	0	0	0	0	0	0	0	-41695.15	0
13	0	0	0	0	0	0	-6470.39	0	0	0	-306.59	17364.01	0	-16275.92
14	0	0	0	0	0	0	0	-83808.70	-14525.50	-3892.94	0	0	0	16275.92

ANEXOS

Inversa de la matriz de configuración de la red de distribución. $[A]^{-1}$

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-0.0021	0.9859	0.9542	0.9292	0.9015	0.5803	0.1431	0.0980	0.0177	0.0037	0	0	0	0
2	-0.0008	-0.0051	0.9337	0.8854	0.8320	0.2123	0.0524	0.0358	0.0065	0.0014	0	0	0	0
3	-0.0008	-0.0051	-0.0663	0.8854	0.8320	0.2123	0.0524	0.0358	0.0065	0.0014	0	0	0	0
4	-0.0008	-0.0051	-0.0663	-0.1146	0.8320	0.2123	0.0524	0.0358	0.0065	0.0014	0	0	0	0
5	-0.0008	-0.0051	-0.0663	-0.1146	-0.1680	0.2123	0.0524	0.0358	0.0065	0.0014	0	0	0	0
6	0.0021	0.0141	0.0458	0.0708	0.0985	0.4197	-0.1431	-0.0980	-0.0177	-0.0037	0	0	0	0
7	0.0090	0.0144	0.0288	0.0402	0.0528	0.1989	0.3977	-0.4123	-0.0743	-0.0157	0	0	0	0
8	0.0012	0.0020	0.0040	0.0055	0.0073	0.0273	0.0546	0.0807	-0.1656	-0.0350	0	0	0	0
9	0.0012	0.0020	0.0040	0.0055	0.0073	0.0273	0.0546	0.0807	0.8344	-0.0350	0	0	0	0
10	0.0012	0.0020	0.0040	0.0055	0.0073	0.0273	0.0546	0.0807	0.8344	0.9650	0	0	0	0
11	-0.9910	-0.9856	-0.9712	-0.9598	-0.9472	-0.8011	-0.6023	-0.4123	-0.0743	-0.0157	0	0	0	0
12	-0.0069	-0.0004	0.0169	0.0306	0.0457	0.2208	0.4592	0.3143	0.0566	0.0120	0	0	0	0
13	-0.0014	-0.0089	0.0205	0.0438	0.0695	0.3680	0.0907	0.0621	0.0112	0.0024	0	0	0	0
14	0.0078	0.0124	0.0249	0.0347	0.0456	0.1716	0.3431	0.5070	0.0913	0.0193	0	0	0	0

Gastos (m ³ /s)	Q _o ijk*[A] ⁻¹	Q= Q _o ijk + Q _{ijk} /2
Q 1-2	0.00088	0.00091
Q 2-3	0.00035	0.00051
Q 3-4	0.00030	0.00047
Q 4-5	0.00025	0.00044
Q 5-6	0.00023	0.00042
Q 6-7	0.00041	0.00056
Q 7-8	0.00019	0.00039
Q 8-9	0.00002	0.00027
Q 9-10	0.00016	0.00037
Q 10-11	0.00027	0.00045
Q 1-11	0.00073	0.00080
Q 1-7	0.00039	0.00055
Q 2-6	0.00043	0.00058
Q 11-8	0.00032	0.00049

Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal. Tercera iteración.

Tubería	Gasto Iniciales $Q_{0\ ijk}$ (m^3/s)	k_m	f	k_{ij} (s^2/m^5)	K'_{ij} (s/m^2)
1-2	0.00091	0.0000	0.0263	834233.6242	757.7765
2-3	0.00051	0.0000	0.0260	8982711.3725	4569.1041
3-4	0.00047	0.0000	0.0265	7462069.9942	3503.4817
4-5	0.00044	0.0000	0.0269	8617019.2951	3752.9734
5-6	0.00042	0.0000	0.0271	102382651.1055	42909.1160
6-7	0.00056	0.0000	0.0255	42303359.5529	23707.8407
7-8	0.00039	0.0000	0.0275	11986085.4144	4705.6978
8-9	0.00027	0.0000	0.0265	185475045.5459	49197.4997
9-10	0.00037	0.0000	0.0280	27868138.8940	10251.3315
10-11	0.00045	0.0000	0.0267	6626324.7713	2992.1257
11-1	0.00080	0.0000	0.0271	362997.1966	289.0898
1-7	0.00055	0.0000	0.0256	26109344.6496	14236.1938
2-6	0.00058	0.0000	0.0253	60433993.6325	34808.1746
11-8	0.00049	0.0000	0.0262	26275079.0570	12925.9043

Vector de gastos de entrada y salidas en cada nodo Q_{0ijk} (m^3/s)	
Q 1	-0.002000
Q 2	0.000098
Q 3	0.000052
Q 4	0.000045
Q 5	0.000022
Q 6	0.001074
Q 7	0.000170
Q 8	0.000153
Q 9	0.000137
Q 10	0.000112
Q 11	0.000000
Q 12	0.000000
Q 13	0.000000
Q 14	0.000000

Matriz de configuración de la red de distribución mediante las ecuaciones de continuidad en los nodos y ecuaciones de conservación de la energía en cada circuito de la red. **[A]**

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
11	757.78	0	0	0	0	-23707.84	0	0	0	0	0	-14236.19	34808.17	0
12	0	4569.10	3503.48	3752.97	42909.12	0	0	0	0	0	0	0	-34808.17	0
13	0	0	0	0	0	0	-4705.70	0	0	0	-289.09	14236.19	0	-12925.90
14	0	0	0	0	0	0	0	-49197.50	-10251.33	-2992.13	0	0	0	12925.90

ANEXOS

Inversa de la matriz de configuración de la red de distribución. $[A]^{-1}$

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-0.0026	0.9832	0.9498	0.9242	0.8968	0.5833	0.1377	0.0957	0.0203	0.0046	0	0	0	0
2	-0.0010	-0.0065	0.9295	0.8804	0.8278	0.2267	0.0535	0.0372	0.0079	0.0018	0	0	0	0
3	-0.0010	-0.0065	-0.0705	0.8804	0.8278	0.2267	0.0535	0.0372	0.0079	0.0018	0	0	0	0
4	-0.0010	-0.0065	-0.0705	-0.1196	0.8278	0.2267	0.0535	0.0372	0.0079	0.0018	0	0	0	0
5	-0.0010	-0.0065	-0.0705	-0.1196	-0.1722	0.2267	0.0535	0.0372	0.0079	0.0018	0	0	0	0
6	0.0026	0.0168	0.0502	0.0758	0.1032	0.4167	-0.1377	-0.0957	-0.0203	-0.0046	0	0	0	0
7	0.0109	0.0177	0.0335	0.0457	0.0587	0.2078	0.4196	-0.4032	-0.0855	-0.0193	0	0	0	0
8	0.0019	0.0030	0.0058	0.0078	0.0101	0.0356	0.0720	0.1024	-0.1904	-0.0430	0	0	0	0
9	0.0019	0.0030	0.0058	0.0078	0.0101	0.0356	0.0720	0.1024	0.8096	-0.0430	0	0	0	0
10	0.0019	0.0030	0.0058	0.0078	0.0101	0.0356	0.0720	0.1024	0.8096	0.9570	0	0	0	0
11	-0.9891	-0.9823	-0.9665	-0.9543	-0.9413	-0.7922	-0.5804	-0.4032	-0.0855	-0.0193	0	0	0	0
12	-0.0083	-0.0008	0.0167	0.0301	0.0445	0.2089	0.4426	0.3075	0.0652	0.0147	0	0	0	0
13	-0.0016	-0.0103	0.0203	0.0438	0.0690	0.3566	0.0842	0.0585	0.0124	0.0028	0	0	0	0
14	0.0090	0.0146	0.0278	0.0379	0.0487	0.1722	0.3477	0.4945	0.1049	0.0237	0	0	0	0

Gastos (m ³ /s)	Q _{o ijk} *[A] ⁻¹	Q= Q _{o ijk} + Q _{ijk} /2
Q 1-2	0.00088	0.00089
Q 2-3	0.00037	0.00044
Q 3-4	0.00032	0.00039
Q 4-5	0.00027	0.00035
Q 5-6	0.00025	0.00033
Q 6-7	0.00041	0.00049
Q 7-8	0.00020	0.00030
Q 8-9	0.00003	0.00015
Q 9-10	0.00017	0.00027
Q 10-11	0.00028	0.00037
Q 1-11	0.00074	0.00077
Q 1-7	0.00038	0.00046
Q 2-6	0.00041	0.00050
Q 11-8	0.00032	0.00041

ANEXOS

Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal. Cuarta iteración

Tubería	Gasto Iniciales $Q_{0\ ij\ k}$ (m^3/s)	k_m	f	k_{ij} (s^2/m^5)	K_{ij} (s/m^2)
1-2	0.00089	0.0000	0.0264	837240.8080	748.9245
2-3	0.00044	0.0000	0.0269	9286124.6129	4067.9583
3-4	0.00039	0.0000	0.0276	7771319.4922	3049.4150
4-5	0.00035	0.0000	0.0282	9045236.7196	3190.7612
5-6	0.00033	0.0000	0.0286	107949564.9966	36011.2693
6-7	0.00049	0.0000	0.0263	43644237.6317	21198.9884
7-8	0.00030	0.0000	0.0294	12787151.7739	3814.8904
8-9	0.00015	0.0000	0.0300	209685064.7663	31241.9477
9-10	0.00027	0.0000	0.0301	30041451.3155	8071.9765
10-11	0.00037	0.0000	0.0280	6950722.1251	2546.3597
11-1	0.00077	0.0000	0.0273	366001.4725	281.6154
1-7	0.00046	0.0000	0.0266	27090065.9036	12489.7998
2-6	0.00050	0.0000	0.0261	62443056.5519	30936.4153
11-8	0.00041	0.0000	0.0273	27401819.6696	11181.1248

Vector de gastos de entrada y salidas en cada nodo $Q_{0ij\ k}$ (m^3/s)	
Q 1	-0.002000
Q 2	0.000098
Q 3	0.000052
Q 4	0.000045
Q 5	0.000022
Q 6	0.001074
Q 7	0.000170
Q 8	0.000153
Q 9	0.000137
Q 10	0.000112
Q 11	0.000000
Q 12	0.000000
Q 13	0.000000
Q 14	0.000000

Matriz de configuración de la red de distribución mediante las ecuaciones de continuidad en los nodos y ecuaciones de conservación de la energía en cada circuito de la red. **[A]**

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-1	1-7	2-6	8-11
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
11	748.92	0	0	0	0	-21198.99	0	0	0	0	0	-12489.80	30936.42	0
12	0	4067.96	3049.41	3190.76	36011.27	0	0	0	0	0	0	0	-30936.42	0
13	0	0	0	0	0	0	-3814.89	0	0	0	-281.62	12489.80	0	-11181.12
14	0	0	0	0	0	0	0	-31241.95	-8071.98	-2546.36	0	0	0	11181.12

ANEXOS

Inversa de la matriz de configuración de la red de distribución. $[A]^{-1}$

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-0.0030	0.9811	0.9463	0.9202	0.8929	0.5851	0.1326	0.0926	0.0235	0.0056	0	0	0	0
2	-0.0012	-0.0076	0.9258	0.8759	0.8237	0.2343	0.0531	0.0371	0.0094	0.0023	0	0	0	0
3	-0.0012	-0.0076	-0.0742	0.8759	0.8237	0.2343	0.0531	0.0371	0.0094	0.0023	0	0	0	0
4	-0.0012	-0.0076	-0.0742	-0.1241	0.8237	0.2343	0.0531	0.0371	0.0094	0.0023	0	0	0	0
5	-0.0012	-0.0076	-0.0742	-0.1241	-0.1763	0.2343	0.0531	0.0371	0.0094	0.0023	0	0	0	0
6	0.0030	0.0189	0.0537	0.0798	0.1071	0.4149	-0.1326	-0.0926	-0.0235	-0.0056	0	0	0	0
7	0.0125	0.0204	0.0375	0.0503	0.0637	0.2150	0.4374	-0.3928	-0.0996	-0.0239	0	0	0	0
8	0.0026	0.0043	0.0079	0.0106	0.0134	0.0453	0.0922	0.1280	-0.2212	-0.0530	0	0	0	0
9	0.0026	0.0043	0.0079	0.0106	0.0134	0.0453	0.0922	0.1280	0.7788	-0.0530	0	0	0	0
10	0.0026	0.0043	0.0079	0.0106	0.0134	0.0453	0.0922	0.1280	0.7788	0.9470	0	0	0	0
11	-0.9875	-0.9796	-0.9625	-0.9497	-0.9363	-0.7850	-0.5626	-0.3928	-0.0996	-0.0239	0	0	0	0
12	-0.0096	-0.0015	0.0162	0.0295	0.0434	0.1999	0.4300	0.3002	0.0761	0.0183	0	0	0	0
13	-0.0018	-0.0114	0.0205	0.0443	0.0692	0.3508	0.0795	0.0555	0.0141	0.0034	0	0	0	0
14	0.0099	0.0161	0.0296	0.0397	0.0503	0.1697	0.3452	0.4792	0.1216	0.0292	0	0	0	0

Gastos (m ³ /s)	Q _o ijk*[A] ⁻¹	Q= Q _o ijk + Q _{ijk} /2
Q 1-2	0.00088	0.00089
Q 2-3	0.00038	0.00041
Q 3-4	0.00032	0.00036
Q 4-5	0.00028	0.00032
Q 5-6	0.00026	0.00029
Q 6-7	0.00041	0.00045
Q 7-8	0.00021	0.00025
Q 8-9	0.00004	0.00010
Q 9-10	0.00018	0.00022
Q 10-11	0.00029	0.00033
Q 1-11	0.00075	0.00076
Q 1-7	0.00037	0.00041
Q 2-6	0.00041	0.00045
Q 11-8	0.00032	0.00036

Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal. Quinta iteración

Tubería	Gasto Iniciales $Q_{0\ ijk}$ (m ³ /s)	k_m	f	k_{ij} (s ² /m ⁵)	K'_{ij} (s/m ²)
1-2	0.00089	0.0000	0.0264	838629.9412	744.8897
2-3	0.00041	0.0000	0.0273	9443539.2007	3841.6752
3-4	0.00036	0.0000	0.0281	7939117.8222	2841.1491
4-5	0.00032	0.0000	0.0290	9288089.1182	2929.4480
5-6	0.00029	0.0000	0.0295	111183122.3225	32784.2451
6-7	0.00045	0.0000	0.0267	44443350.4814	19899.3579
7-8	0.00025	0.0000	0.0305	13288278.2377	3387.3285
8-9	0.00010	0.0000	0.0333	232492807.4069	22440.4617
9-10	0.00022	0.0000	0.0315	31406665.6936	7059.3108
10-11	0.00033	0.0000	0.0287	7126589.6586	2347.4708
11-1	0.00076	0.0000	0.0274	367127.2359	278.8922
1-7	0.00041	0.0000	0.0272	27746511.4476	11504.1701
2-6	0.00045	0.0000	0.0267	63737055.6208	28793.9367
11-8	0.00036	0.0000	0.0280	28131217.3377	10243.6990

Vector de gastos de entrada y salidas en cada nodo Q_{0ijk} (m ³ /s)	
Q 1	-0.002000
Q 2	0.000098
Q 3	0.000052
Q 4	0.000045
Q 5	0.000022
Q 6	0.001074
Q 7	0.000170
Q 8	0.000153
Q 9	0.000137
Q 10	0.000112
Q 11	0.000000
Q 12	0.000000
Q 13	0.000000
Q 14	0.000000

Matriz de configuración de la red de distribución mediante las ecuaciones de continuidad en los nodos y ecuaciones de conservación de la energía en cada circuito de la red. **[A]**

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
11	744.89	0	0	0	0	-19899.36	0	0	0	0	0	-11504.17	28793.94	0
12	0	3841.68	2841.15	2929.45	32784.25	0	0	0	0	0	0	0	-28793.94	0
13	0	0	0	0	0	0	-3387.33	0	0	0	-278.89	11504.17	0	-10243.70
14	0	0	0	0	0	0	0	-22440.46	-7059.31	-2347.47	0	0	0	10243.70

ANEXOS

Inversa de la matriz de configuración de la red de distribución. $[A]^{-1}$

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-0.0032	0.9797	0.9440	0.9176	0.8903	0.5857	0.1284	0.0894	0.0264	0.0066	0	0	0	0
2	-0.0013	-0.0082	0.9234	0.8728	0.8206	0.2369	0.0520	0.0362	0.0107	0.0027	0	0	0	0
3	-0.0013	-0.0082	-0.0766	0.8728	0.8206	0.2369	0.0520	0.0362	0.0107	0.0027	0	0	0	0
4	-0.0013	-0.0082	-0.0766	-0.1272	0.8206	0.2369	0.0520	0.0362	0.0107	0.0027	0	0	0	0
5	-0.0013	-0.0082	-0.0766	-0.1272	-0.1794	0.2369	0.0520	0.0362	0.0107	0.0027	0	0	0	0
6	0.0032	0.0203	0.0560	0.0824	0.1097	0.4143	-0.1284	-0.0894	-0.0264	-0.0066	0	0	0	0
7	0.0138	0.0224	0.0403	0.0535	0.0672	0.2201	0.4496	-0.3830	-0.1131	-0.0282	0	0	0	0
8	0.0034	0.0054	0.0098	0.0130	0.0164	0.0536	0.1094	0.1502	-0.2510	-0.0626	0	0	0	0
9	0.0034	0.0054	0.0098	0.0130	0.0164	0.0536	0.1094	0.1502	0.7490	-0.0626	0	0	0	0
10	0.0034	0.0054	0.0098	0.0130	0.0164	0.0536	0.1094	0.1502	0.7490	0.9374	0	0	0	0
11	-0.9862	-0.9776	-0.9597	-0.9465	-0.9328	-0.7799	-0.5504	-0.3830	-0.1131	-0.0282	0	0	0	0
12	-0.0106	-0.0020	0.0157	0.0289	0.0425	0.1942	0.4220	0.2936	0.0867	0.0216	0	0	0	0
13	-0.0019	-0.0121	0.0206	0.0448	0.0697	0.3488	0.0765	0.0532	0.0157	0.0039	0	0	0	0
14	0.0104	0.0169	0.0305	0.0405	0.0509	0.1666	0.3402	0.4668	0.1379	0.0344	0	0	0	0

Gastos (m ³ /s)	Qo ijk*[A] ⁻¹	Q= Qo ijk + Qijk/2
Q 1-2	0.000882	0.000885
Q 2-3	0.000378	0.000392
Q 3-4	0.000326	0.000342
Q 4-5	0.000281	0.000298
Q 5-6	0.000259	0.000277
Q 6-7	0.000410	0.000429
Q 7-8	0.000216	0.000236
Q 8-9	0.000053	0.000075
Q 9-10	0.000190	0.000207
Q 10-11	0.000301	0.000315
Q 1-11	0.000755	0.000757
Q 1-7	0.000363	0.000389
Q 2-6	0.000406	0.000429
Q 11-8	0.000316	0.000340

Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal. Sexta iteración

Tubería	Gasto Iniciales $Q_{0\ ijk}$ (m ³ /s)	k_m	f	k_{ij} (s ² /m ⁵)	K_i (s/m ²)
1-2	0.000885	0.0000	0.0264	839332.1485	742.8630
2-3	0.000392	0.0000	0.0276	9521857.7973	3736.4991
3-4	0.000342	0.0000	0.0285	8024951.6050	2743.2821
4-5	0.000298	0.0000	0.0294	9415803.8202	2805.5301
5-6	0.000277	0.0000	0.0299	112909797.9276	31247.1173
6-7	0.000429	0.0000	0.0270	44879458.2917	19242.9625
7-8	0.000236	0.0000	0.0311	13551645.3300	3192.7427
8-9	0.000075	0.0000	0.0355	248078167.7458	18549.8594
9-10	0.000207	0.0000	0.0322	32059305.0602	6645.8699
10-11	0.000315	0.0000	0.0290	7200575.7853	2271.1462
11-1	0.000757	0.0000	0.0274	367416.9106	278.1982
1-7	0.000389	0.0000	0.0276	28154665.4693	10952.5140
2-6	0.000429	0.0000	0.0270	64494821.3438	27647.2202
11-8	0.000340	0.0000	0.0285	28585427.2600	9721.8726

Vector de gastos de entrada y salidas en cada nodo Q_{ijk} (m ³ /s)	
Q 1	-0.002000
Q 2	0.000098
Q 3	0.000052
Q 4	0.000045
Q 5	0.000022
Q 6	0.001074
Q 7	0.000170
Q 8	0.000153
Q 9	0.000137
Q 10	0.000112
Q 11	0.000000
Q 12	0.000000
Q 13	0.000000
Q 14	0.000000

Matriz de configuración de la red de distribución mediante las ecuaciones de continuidad en los nodos y ecuaciones de conservación de la energía en cada circuito de la red. [A]

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
11	742.86	0	0	0	0	-19242.96	0	0	0	0	0	-10952.51	27647.22	0
12	0	3736.50	2743.28	2805.53	31247.12	0	0	0	0	0	0	0	-27647.22	0
13	0	0	0	0	0	0	-3192.74	0	0	0	-278.20	10952.51	0	-9721.87
14	0	0	0	0	0	0	0	-18549.86	-6645.87	-2271.15	0	0	0	9721.87

ANEXOS

Inversa de la matriz de configuración de la red de distribución. $[A]^{-1}$

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-0.0034	0.9789	0.9426	0.9160	0.8888	0.5859	0.1257	0.0870	0.0283	0.0072	0	0	0	0
2	-0.0014	-0.0086	0.9219	0.8709	0.8187	0.2376	0.0510	0.0353	0.0115	0.0029	0	0	0	0
3	-0.0014	-0.0086	-0.0781	0.8709	0.8187	0.2376	0.0510	0.0353	0.0115	0.0029	0	0	0	0
4	-0.0014	-0.0086	-0.0781	-0.1291	0.8187	0.2376	0.0510	0.0353	0.0115	0.0029	0	0	0	0
5	-0.0014	-0.0086	-0.0781	-0.1291	-0.1813	0.2376	0.0510	0.0353	0.0115	0.0029	0	0	0	0
6	0.0034	0.0211	0.0574	0.0840	0.1112	0.4141	-0.1257	-0.0870	-0.0283	-0.0072	0	0	0	0
7	0.0146	0.0236	0.0420	0.0554	0.0692	0.2228	0.4561	-0.3765	-0.1222	-0.0311	0	0	0	0
8	0.0038	0.0062	0.0110	0.0145	0.0181	0.0583	0.1192	0.1630	-0.2717	-0.0692	0	0	0	0
9	0.0038	0.0062	0.0110	0.0145	0.0181	0.0583	0.1192	0.1630	0.7283	-0.0692	0	0	0	0
10	0.0038	0.0062	0.0110	0.0145	0.0181	0.0583	0.1192	0.1630	0.7283	0.9308	0	0	0	0
11	-0.9854	-0.9764	-0.9580	-0.9446	-0.9308	-0.7772	-0.5439	-0.3765	-0.1222	-0.0311	0	0	0	0
12	-0.0112	-0.0025	0.0154	0.0285	0.0419	0.1913	0.4182	0.2895	0.0940	0.0239	0	0	0	0
13	-0.0020	-0.0126	0.0207	0.0451	0.0701	0.3483	0.0748	0.0517	0.0168	0.0043	0	0	0	0
14	0.0108	0.0174	0.0310	0.0409	0.0511	0.1646	0.3369	0.4605	0.1495	0.0381	0	0	0	0

Gastos (m ³ /s)	Qo ijk*[A] ⁻¹	Q= Qo ijk + Qijk/2
Q 1-2	0.00088	0.00088
Q 2-3	0.00038	0.00039
Q 3-4	0.00033	0.00033
Q 4-5	0.00028	0.00029
Q 5-6	0.00026	0.00027
Q 6-7	0.00041	0.00042
Q 7-8	0.00022	0.00023
Q 8-9	0.00006	0.00007
Q 9-10	0.00019	0.00020
Q 10-11	0.00031	0.00031
Q 1-11	0.00076	0.00076
Q 1-7	0.00036	0.00038
Q 2-6	0.00040	0.00042
Q 11-8	0.00031	0.00033

ANEXOS

Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal. Séptima iteración

Tubería	Gasto Iniciales $Q_{0\ ijk}$ (m ³ /s)	k_m	f	k_{ij} (s ² /m ⁵)	K'_{ij} (s/m ²)
1-2	0.00088	0.0000	0.0264	839709.5214	741.7774
2-3	0.00039	0.0000	0.0277	9561179.8181	3685.4192
3-4	0.00033	0.0000	0.0286	8068654.1147	2695.5127
4-5	0.00029	0.0000	0.0296	9481777.4005	2744.7847
5-6	0.00027	0.0000	0.0302	113809089.2930	30491.9770
6-7	0.00042	0.0000	0.0271	45105126.4193	18916.7895
7-8	0.00023	0.0000	0.0314	13678509.6565	3105.3801
8-9	0.00007	0.0000	0.0367	256248729.8242	16939.3743
9-10	0.00020	0.0000	0.0324	32323578.8099	6489.5307
10-11	0.00031	0.0000	0.0291	7226976.2900	2244.8719
11-1	0.00076	0.0000	0.0274	367435.5227	278.1537
1-7	0.00038	0.0000	0.0278	28390265.0915	10653.0907
2-6	0.00042	0.0000	0.0272	64908089.5869	27052.2802
11-8	0.00033	0.0000	0.0288	28853280.7225	9433.8253

Vector de gastos de entrada y salidas en cada nodo Q_{ij} (m ³ /s)	
Q 1	-0.002000
Q 2	0.000098
Q 3	0.000052
Q 4	0.000045
Q 5	0.000022
Q 6	0.001074
Q 7	0.000170
Q 8	0.000153
Q 9	0.000137
Q 10	0.000112
Q 11	0.000000
Q 12	0.000000
Q 13	0.000000
Q 14	0.000000

Matriz de configuración de la red de distribución mediante las ecuaciones de continuidad en los nodos y ecuaciones de conservación de la energía en cada circuito de la red. **[A]**

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
11	741.78	0	0	0	0	-18916.79	0	0	0	0	0	-10653.09	27052.28	0
12	0	3685.42	2695.51	2744.78	30491.98	0	0	0	0	0	0	0	-27052.28	0
13	0	0	0	0	0	0	-3105.38	0	0	0	-278.15	10653.09	0	-9433.83
14	0	0	0	0	0	0	0	-16939.37	-6489.53	-2244.87	0	0	0	9433.83

ANEXOS

Inversa de la matriz de configuración de la red de distribución. $[A]^{-1}$

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-0.0035	0.9784	0.9419	0.9152	0.8880	0.5860	0.1243	0.0857	0.0292	0.0075	0	0	0	0
2	-0.0014	-0.0087	0.9212	0.8699	0.8177	0.2378	0.0504	0.0348	0.0118	0.0030	0	0	0	0
3	-0.0014	-0.0087	-0.0788	0.8699	0.8177	0.2378	0.0504	0.0348	0.0118	0.0030	0	0	0	0
4	-0.0014	-0.0087	-0.0788	-0.1301	0.8177	0.2378	0.0504	0.0348	0.0118	0.0030	0	0	0	0
5	-0.0014	-0.0087	-0.0788	-0.1301	-0.1823	0.2378	0.0504	0.0348	0.0118	0.0030	0	0	0	0
6	0.0035	0.0216	0.0581	0.0848	0.1120	0.4140	-0.1243	-0.0857	-0.0292	-0.0075	0	0	0	0
7	0.0150	0.0243	0.0428	0.0564	0.0703	0.2239	0.4589	-0.3731	-0.1269	-0.0326	0	0	0	0
8	0.0040	0.0065	0.0115	0.0152	0.0189	0.0602	0.1233	0.1684	-0.2829	-0.0727	0	0	0	0
9	0.0040	0.0065	0.0115	0.0152	0.0189	0.0602	0.1233	0.1684	0.7171	-0.0727	0	0	0	0
10	0.0040	0.0065	0.0115	0.0152	0.0189	0.0602	0.1233	0.1684	0.7171	0.9273	0	0	0	0
11	-0.9850	-0.9757	-0.9572	-0.9436	-0.9297	-0.7761	-0.5411	-0.3731	-0.1269	-0.0326	0	0	0	0
12	-0.0116	-0.0027	0.0152	0.0283	0.0417	0.1900	0.4168	0.2874	0.0978	0.0251	0	0	0	0
13	-0.0021	-0.0128	0.0208	0.0453	0.0704	0.3482	0.0738	0.0509	0.0173	0.0045	0	0	0	0
14	0.0110	0.0177	0.0313	0.0413	0.0514	0.1638	0.3356	0.4584	0.1560	0.0401	0	0	0	0

Gastos (m ³ /s)	Q _{o ijk} [A] ⁻¹	Q= Q _{o ijk} + Q _{ijk} /2
Q 1-2	0.00088	0.00088
Q 2-3	0.00038	0.00038
Q 3-4	0.00033	0.00033
Q 4-5	0.00028	0.00029
Q 5-6	0.00026	0.00026
Q 6-7	0.00041	0.00041
Q 7-8	0.00022	0.00022
Q 8-9	0.00006	0.00006
Q 9-10	0.00020	0.00020
Q 10-11	0.00031	0.00031
Q 1-11	0.00076	0.00076
Q 1-7	0.00036	0.00037
Q 2-6	0.00040	0.00041
Q 11-8	0.00031	0.00032

ANEXOS

Cálculo Hidráulico por el método de la Teoría Lineal. Octava iteración mediante el método de la Teoría Lineal

Tubería	Gasto Iniciales $Q_{0\ ij\ k}$ (m^3/s)	k_m	f	k_{ij} (s^2/m^5)	K_{ij} (s/m^2)
1-2	0.00088	0.0000	0.0265	839908.3471	741.2065
2-3	0.00038	0.0000	0.0277	9581026.2476	3660.0616
3-4	0.00033	0.0000	0.0287	8090854.1482	2671.7558
4-5	0.00029	0.0000	0.0297	9515526.2641	2714.5242
5-6	0.00026	0.0000	0.0303	114271011.1061	30115.4675
6-7	0.00041	0.0000	0.0272	45219562.4760	18754.7531
7-8	0.00022	0.0000	0.0316	13739628.3791	3064.6655
8-9	0.00006	0.0000	0.0372	260192751.3991	16244.2607
9-10	0.00020	0.0000	0.0325	32432384.3792	6426.8951
10-11	0.00031	0.0000	0.0291	7236673.5752	2235.3435
11-1	0.00076	0.0000	0.0274	367408.3217	278.2188
1-7	0.00037	0.0000	0.0280	28517535.3162	10496.7574
2-6	0.00041	0.0000	0.0273	65123786.5047	26749.8536
11-8	0.00032	0.0000	0.0289	29000477.4247	9281.3163

Vector de gastos de entrada y salidas en cada nodo Q_{ijk} (m^3/s)	
Q 1	-0.002000
Q 2	0.000098
Q 3	0.000052
Q 4	0.000045
Q 5	0.000022
Q 6	0.001074
Q 7	0.000170
Q 8	0.000153
Q 9	0.000137
Q 10	0.000112
Q 11	0.000000
Q 12	0.000000
Q 13	0.000000
Q 14	0.000000

Matriz de configuración de la red de distribución mediante las ecuaciones de continuidad en los nodos y ecuaciones de conservación de la energía en cada circuito de la red. **[A]**

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
2	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
3	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
11	741.21	0	0	0	0	-18754.75	0	0	0	0	0	-10496.76	26749.85	0
12	0	3660.06	2671.76	2714.52	30115.47	0	0	0	0	0	0	0	-26749.85	0
13	0	0	0	0	0	0	-3064.67	0	0	0	-278.22	10496.76	0	-9281.32
14	0	0	0	0	0	0	0	-16939.37	-6489.53	-2244.87	0	0	0	9433.83

ANEXOS

Inversa de la matriz de configuración de la red de distribución. $[A]^{-1}$

Nodo/Tubo	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	1-11	1-7	2-6	8-11
1	-0.0035	0.9782	0.9416	0.9148	0.8877	0.5862	0.1235	0.0850	0.0296	0.0076	0	0	0	0
2	-0.0014	-0.0088	0.9208	0.8694	0.8172	0.2379	0.0501	0.0345	0.0120	0.0031	0	0	0	0
3	-0.0014	-0.0088	-0.0792	0.8694	0.8172	0.2379	0.0501	0.0345	0.0120	0.0031	0	0	0	0
4	-0.0014	-0.0088	-0.0792	-0.1306	0.8172	0.2379	0.0501	0.0345	0.0120	0.0031	0	0	0	0
5	-0.0014	-0.0088	-0.0792	-0.1306	-0.1828	0.2379	0.0501	0.0345	0.0120	0.0031	0	0	0	0
6	0.0035	0.0218	0.0584	0.0852	0.1123	0.4138	-0.1235	-0.0850	-0.0296	-0.0076	0	0	0	0
7	0.0153	0.0246	0.0433	0.0569	0.0707	0.2244	0.4601	-0.3715	-0.1292	-0.0333	0	0	0	0
8	0.0042	0.0067	0.0117	0.0154	0.0192	0.0609	0.1249	0.1706	-0.2884	-0.0744	0	0	0	0
9	0.0042	0.0067	0.0117	0.0154	0.0192	0.0609	0.1249	0.1706	0.7116	-0.0744	0	0	0	0
10	0.0042	0.0067	0.0117	0.0154	0.0192	0.0609	0.1249	0.1706	0.7116	0.9256	0	0	0	0
11	-0.9847	-0.9754	-0.9567	-0.9431	-0.9293	-0.7756	-0.5399	-0.3715	-0.1292	-0.0333	0	0	0	0
12	-0.0118	-0.0028	0.0152	0.0283	0.0416	0.1895	0.4164	0.2865	0.0997	0.0257	0	0	0	0
13	-0.0021	-0.0129	0.0208	0.0455	0.0705	0.3483	0.0734	0.0505	0.0176	0.0045	0	0	0	0
14	0.0111	0.0179	0.0315	0.0415	0.0515	0.1635	0.3352	0.4579	0.1592	0.0411	0	0	0	0

Gastos (m ³ /s)	Qo ijk*[A] ⁻¹	Q= Qo ijk + Qijk/2
Q 1-2	0.00088	0.00088
Q 2-3	0.00038	0.00038
Q 3-4	0.00033	0.00033
Q 4-5	0.00028	0.00028
Q 5-6	0.00026	0.00026
Q 6-7	0.00041	0.00041
Q 7-8	0.00022	0.00022
Q 8-9	0.00006	0.00006
Q 9-10	0.00020	0.00020
Q 10-11	0.00031	0.00031
Q 1-11	0.00076	0.00076
Q 1-7	0.00036	0.00036
Q 2-6	0.00040	0.00041
Q 11-8	0.00031	0.00032

ANEXO C

Cálculo Hidráulico mediante el Software EPANET

Cálculo hidráulico mediante el software de análisis para redes hidráulicas EPANET.

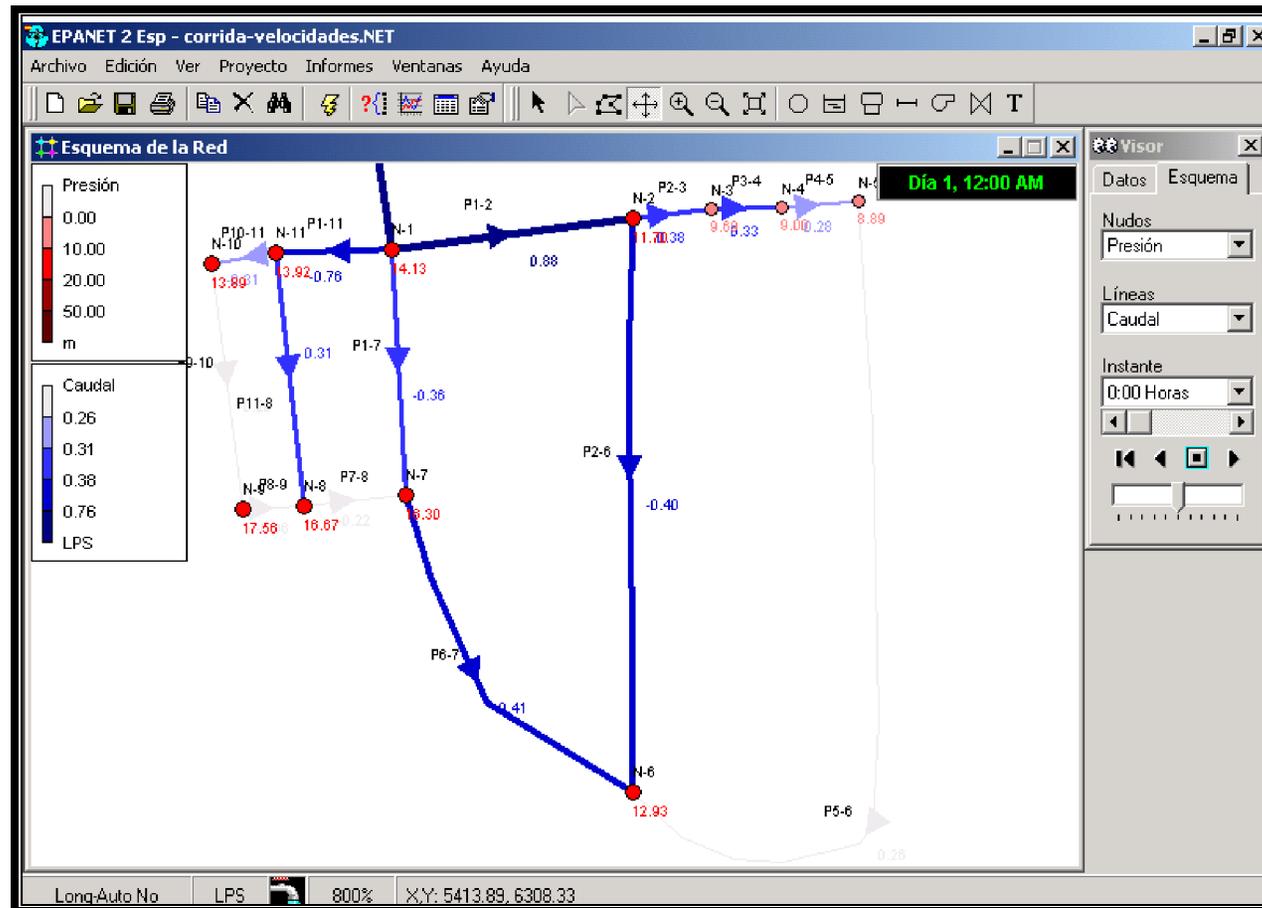


Figura A.1 En la cual se muestran los valores mediante la corrida de la red de distribución tanto en sus nodos así como en cada tramo de tubería.

Gastos, Velocidades y Presiones obtenidos con el software EPANET.

Gastos en tuberías	Epanet (lps)
Q 1-2	0.88
Q 2-3	0.38
Q 3-4	0.33
Q 4-5	0.28
Q 5-6	0.26
Q 6-7	0.41
Q 7-8	0.22
Q 8-9	0.06
Q 9-10	0.20
Q 10-11	0.31
Q 1-11	0.76
Q 1-7	0.36
Q 2-6	0.40
Q 11-8	0.31

Velocidad en tuberías	Epanet (m/s)
V 1-2	0.43
V 2-3	0.75
V 3-4	0.64
V 4-5	0.55
V 5-6	0.51
V 6-7	0.81
V 7-8	0.43
V 8-9	0.47
V 9-10	0.39
V 10-11	0.61
V 1-11	0.37
V 1-7	0.71
V 2-6	0.80
V 11-8	0.62

Presión en nodo (m.c.a)	Epanet (m.c.a)
N-1	14.13
N-2	11.70
N-3	9.69
N-4	9.00
N-5	8.89
N-6	12.93
N-7	16.30
N-8	16.67
N-9	17.56
N-10	13.89
N-11	13.92

ANEXO D

Archivo Fotográfico.



Foto D.1. Se muestra el estado actual de la infraestructura en el centro de la comunidad.



Foto D.2. En esta toma se muestra el tipo de suelo y clima que existe en la región de la comunidad.



Foto D.3. Se observa el camino por donde se construirá la línea de alimentación hacia la red de distribución de la comunidad.



Foto D.4. Vista de la comunidad observada desde la ubicación del tanque.

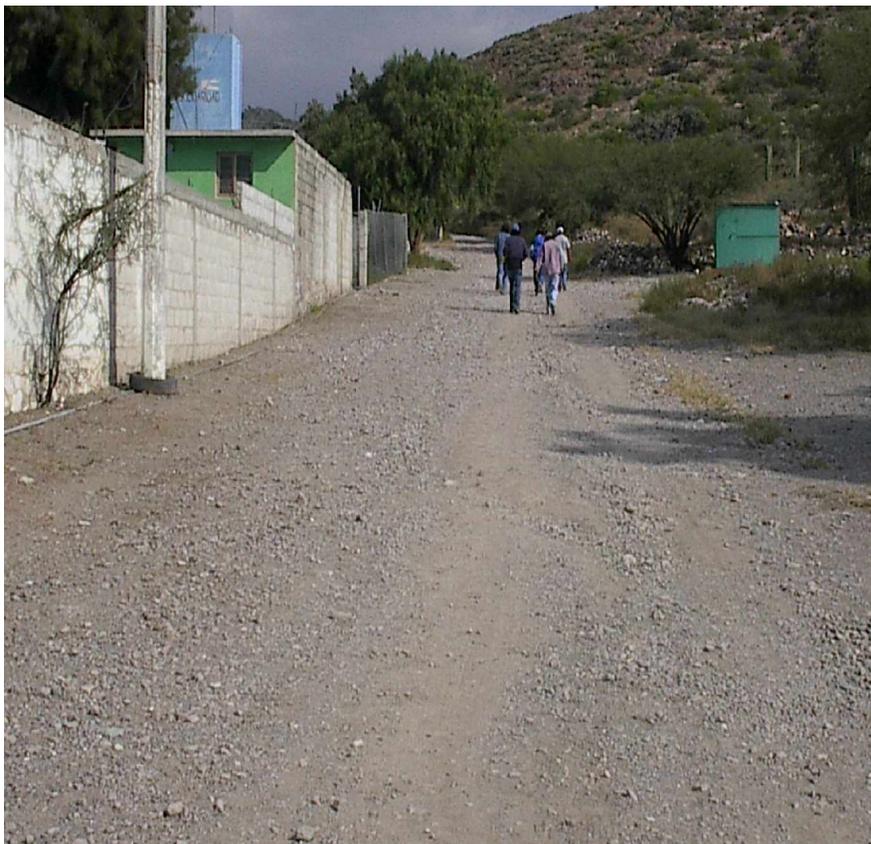


Foto D.5. Se muestran las grandes pendientes que existen en el terreno en donde se construirá la línea de alimentación.



Foto D.6. La dispersión de las casa en los costados del centro de la comunidad complica la introducción de los servicios básicos.

BIBLIOGRAFÍA

- **MANUAL DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO**
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA,
MÉXICO.1994

- **ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**
M EN I. ENRIQUE CÉSAR VALDÉZ
UNAM, FACULTAD DE INGENIERIA
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA
MÉXICO 1994-1999

- **FUNDAMENTOS DE HIDRÁULICA GENERAL**
VOLUMEN I
DR. GILBERTO SÓTELO ÁVILA
LIMUSA
MÉXICO

- **HIDRÁULICA DE TUBERÍAS**
JUAN G. SALDARRIAGA V.
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Mc. GRAW-HILL
COLOMBIA 1998

- **PLANEACIÓN Y DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE**
ING. JOSÉ LUIS DE LA FUENTE SEVERINO
IPN-ESIA
MÉXICO 1990

- **TOPOGRAFÍA**
MIGUEL MONTES DE OCA
ALFA-OMEGA
MÉXICO 1991

- **TOPOGRAFÍA LEVANTAMIENTOS ELEMENTALES**
EDILVERTO SOLIS SALDIVAR
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE ZACATECAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ZACATECAS,
MÉXICO 1992