

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**PROYECTO EJECUTIVO DE LA SUSTITUCIÓN DE TUBERÍA DE AGUA
POTABLE EN LA CALLE CUAUTEPEC A LA CALLE CEDRO EN LA
DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA:

CÉSAR SERGIO ROSAS MORENO



Asesor: Ing. Sergio Cesar Arroyo Trejo

México, DF. 2004

A MI MADRE (Q.E.P.D):

Como prueba de mi eterno agradecimiento, por toda una vida de esfuerzos, luchas y sacrificios, brindándome todo el cariño, comprensión y sobre todo el apoyo cuando más lo necesité, aunque estés muy lejos te siento tan cerca de mi y quiero decir que hoy puedes sentirte orgullosa del hombre que siempre deseaste que fuera.

Con el más puro amor, admiración y respeto.

ETERNAMENTE, MUCHAS GRACIAS MAMÁ

A MI PADRE:

Gracias a que su interés y apoyo incondicional, hicieron posible que consiguiera una de las metas más valiosas de mi vida, de todo corazón Padre, esto es también un logro tuyo.

GRACIAS PAPÁ

A MI ABUELITA:

Por su cuidado, apoyo y protección a lo largo de mi vida, te quiero mucho y considera este triunfo personal como tuyo.

GRACIAS ABUELA

ÍNDICE

Antecedentes	1
---------------------------	----------

Introducción	2
---------------------------	----------

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.

1.1 Recopilación y Análisis de la Información	4
--	----------

1.2 Trabajos Preliminares	5
--	----------

1.3 Marco Físico y Socioeconómico de la Zona de Estudio	8
--	----------

CAPÍTULO 2. ESTUDIOS DE CAMPO Y GABINETE

2.1 Trabajos Topográficos de Campo y Gabinete	13
--	-----------

2.1.1 Trazo de Poligonal de Apoyo.....	13
--	-----------

2.1.1. a Levantamiento de Planimetría y Altimetría de la Infraestructura existente.....	13
--	-----------

2.1.2 Nivelación de Perfil.....	14
---------------------------------	-----------

2.1.2. a Nivelación Diferencial para Liga de Bando de Nivel, Mojoneras existentes y Repuestas.....	14
---	-----------

2.1.3 Cálculo y Elaboración de Planos Topográficos.....	14
---	-----------

2.2 Estudios de Mecánica de Suelos	16
---	-----------

2.2.1 Descripción Geotécnica de la Zona.....	16
--	-----------

2.2.2 Sondeo PCA-1.....	18
-------------------------	-----------

2.2.3 Sondeo PCA-2.....	21
-------------------------	-----------

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE POBLACIÓN

3.1	Predicción de la Población.....	24
------------	--	-----------

CAPÍTULO 4. DETERMINACIÓN DE LOS DATOS BÁSICOS DE PROYECTO

4.1	Determinación de los Datos Básicos de Proyecto.....	29
4.1.1	Estudio de Dotación.....	29
4.1.2	Variaciones de Consumo.....	29
4.1.3	Gasto Medio Diario.....	29
4.1.4	Gasto Máximo Horario.....	30
4.1.5	Gasto Máximo Diario.....	30

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

5.1	Propuesta de Trazo de la Línea de Conducción.....	32
5.1.1	Propuesta de Trazo No.1.....	32
5.1.2	Propuesta de Trazo No.2.....	34
5.1.3	Propuesta de Trazo no. 3.....	34
5.1.4	Propuesta de Trazo no. 4.....	34
5.1.5	Propuesta de Trazo no. 5.....	35
5.2	Alternativas de Trazo	
5.2.1	Alternativa de Trazo seleccionada.....	35
5.3	Ecuaciones de Diseño.....	37
5.4	Ecuaciones para el cálculo de pérdidas de energía.....	42
5.5	Memoria de cálculo del diseño de la línea de conducción.....	46

5.6 Fórmulas utilizadas para la realización de tablas de cálculo en el “Proyecto Ejecutivo de la Sustitución de Tubería de Agua Potable”49

5.7 Presupuesto.....64

5.8 Planos de Proyecto.....68

CAPÍTULO 6. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1 Manifestación del Impacto Ambiental en la zona de proyecto.....80

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.....86

7.2 Recomendaciones.....86

Bibliografía.....88

Anexo.....89

Antecedentes

ANTECEDENTES

Es innegable que existe una crisis en el mundo y particularmente en México, en relación con el recurso agua, debido al desequilibrio de los sistemas hidrológicos, a la afectación de ecosistemas, la deforestación y la degradación de los suelos de las cuencas; a la contaminación de corrientes y cuerpos de agua, la alteración de condiciones climáticas y otros factores como el establecimiento de patrones de consumo no sustentables, bajo la idea de una disponibilidad ilimitada del recurso.

La Ciudad de México ha enfrentado a lo largo de su historia serios problemas tanto para el abastecimiento de agua potable como para el desalojo de los caudales de aguas residuales y de aguas pluviales. A lo largo de las diversas épocas, desde la fundación de la gran Tenochtitlan hasta nuestros días, el ingenio humano de sus pobladores ha creado importantes obras de ingeniería hidráulica, complejos sistemas de acequias, diques y albarradones, calzadas y acueductos subterráneos, sistemas de bombeo, plantas potabilizadoras y sistemas de drenaje profundo entre otras, con el propósito siempre de satisfacer las necesidades y la demanda de agua potable que día a día se incrementan y tiene plena validez en el principio de que el agua constituye el instrumento fundamental para orientar el desarrollo y mejorar la calidad de vida de la población.

La problemática en esta ciudad, en materia hidráulica es muy compleja ya que son más que conocidos los asentamientos del suelo, y también lo son los costos cada vez más crecientes hablando en términos generales de enormes obras de abastecimiento.

Por otra parte, con el crecimiento de la plancha de concreto en las zonas altas, se impide la infiltración de aguas pluviales y en consecuencia la recarga natural del acuífero siempre será insuficiente para dotar de agua potable a una ciudad tan grande como la nuestra, teniendo que recurrir a distintos métodos para cubrir la demanda de los pobladores.

Introducción

INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México se ubica en una cuenca endorreica a una altura promedio de 2,240 msnm, la cual desde épocas pasadas se ha enfrentado a diferentes obstáculos para tener la capacidad de dotar de agua potable a sus habitantes, teniendo que recurrir para ello a la sobreexplotación de sus acuíferos subterráneos y a la extracción, captación y conducción de agua de fuentes lejanas al Valle de México.

Bajo este contexto, el suministro de agua potable a la Ciudad de México se agudiza debido no solamente a la escasez del recurso, sino también a problemas de carácter técnico y/o económico, siendo particularmente crítico al Norte y Oriente de la urbe.

La delegación Gustavo A. Madero, que se ubica al norte de la ciudad, a sufrido como consecuencia de la explosión demográfica a través de los años un excesivo crecimiento de la mancha urbana hacia las zonas altas del territorio que ocupa la demarcación, trayendo como consecuencia que las líneas de conducción y redes de distribución actuales, sean insuficientes para abastecer de agua potable a las colonias de reciente formación.

Otros factores importantes en el deterioro de la calidad del servicio lo representan la antigüedad de las tuberías del sistema, que en algunas zonas alcanza los 35 años de edad; el material con que fueron construidas, asbesto – cemento principalmente; y las características topográficas, geotécnicas y de sismicidad del terreno, son las que propician un alto porcentaje de pérdida de agua por fugas en las líneas de conducción y redes de distribución, reduciendo el caudal disponible para consumo.

Por todo lo anterior se ha generado la necesidad de reforzar el servicio de distribución, aumentando la capacidad de las líneas existentes a través de la construcción de obras que sustituyan o complementen a las primeras, las cuales consideren en su planteamiento, materiales que ofrezcan mayor resistencia a las condiciones de operación y medio ambiente a que se encuentran expuestas, con lo que se busca satisfacer de manera adecuada la demanda actual y futura de la población.

OBJETIVO

Considerando el compromiso que implica la ingeniería civil en el desarrollo del país, se desarrollo el presente proyecto cuyo objetivo es ampliar y mejorar la cobertura del suministro de agua potable a las colonias La pastora, Barrio la Candelaria Ticomán, Barrio San Juan Ticomán y Barrio Guadalupe Ticomán en la delegación Gustavo A. Madero, a través de la sustitución de la línea de conducción de 12” de diámetro que alimenta actualmente al Tanque Rebombeo GM-11, por una de 20” de diámetro.

CAPÍTULO 1.

MARCO TEÓRICO

1.1 Recopilación y análisis de la información

Para una adecuada ejecución de los trabajos se recopiló en distintas oficinas del departamento de Sistemas de Aguas de la Ciudad de México, información de carácter diverso relacionada con la infraestructura hidráulica y urbana existente en la zona de proyecto que debiese considerarse en la realización de los trabajos. La información recopilada se analizó y complementó, enriqueciendo con ello los elementos involucrados en el planteamiento de alternativas de solución y en el diseño final de la línea de conducción.

A continuación se relacionan los informes, reportes y planos utilizados para la realización del proyecto.

a) Informes

- CSR Polypipe®, Design & Engineering Guide for Polyethylene Piping, Gainesville, TX, USA, 1997.
- Diseño y Operación Hidráulicos de Conducciones de Agua a Presión. Fascículo I. Introducción General. Instituto de Ingeniería, UNAM, 1995.
- Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. División de Ingeniería de CRANE. Ed. McGraw-Hill, México, 1992.
- Abastecimiento de Agua Potable. Enrique César Valdez. Facultad de Ingeniería, UNAM, 1991.
- Normas de Construcción. Secretaría General de Obras. DDF, 1989.
- Hidráulica General. Gilberto Sotelo Ávila. Ed. Limusa, México, 1978.

b) Planos

- Plano DGCOH titulado: Red Primaria y Secundaria de Agua Potable de la Ciudad de México. 1 Hoja Escala 1:2,000. Clave N7-E4. Febrero de 1979.
- Plano DGCOH titulado: Red Primaria y Secundaria de Agua Potable de la Ciudad de México. 1 Hoja Escala 1:2,000. Clave N7-E5. Febrero de 1979.
- Plano DGCOH titulado: Infraestructura Primaria de Agua Potable. Hoja 5B. Escala 1:10,000. Diciembre de 1991.

- Plano DGCOH titulado: Red Primaria y Secundaria de Drenaje de la Ciudad de México. 1 Hojas Escala 1:2,000. Clave N7-E4. Septiembre de 1976.

1.2 Trabajos preliminares

De acuerdo al plan de trabajo del proyecto ejecutivo para la sustitución de tubería de agua potable sobre las calles Puerto de Mazatlán, Calle Uno, Huitzilopochtli y Cerrada de Verano, se llevaron a cabo dos recorridos de reconocimiento a la zona de estudio.

El primer recorrido tuvo por objeto identificar en campo los puntos inicial y final de la línea de conducción.

El segundo recorrido se efectuó para la aprobación de los sitios propuestos inicialmente, para la realización de los estudios de mecánica de suelos. En este recorrido se estableció que los sitios en donde se realizarán las excavaciones de pozos a cielo abierto para la exploración geotécnica son:

1. La banqueta sur de Boulevard del Temoluco, entre Av. Cuauhtepac y Av. Puerto de Mazatlán.
2. La banqueta norte de la esquina que forman Calle dos y Huitzilopochtli.

Los sitios antes mencionados se definieron de tal manera que se tuviesen características representativas del subsuelo para toda la longitud de la línea. Adicionalmente a estos recorridos, se realizaron visitas en las que se identificó en campo la infraestructura hidráulica y urbana detectada en planos, con lo que se determinó las condiciones físicas involucradas en la correcta realización de los trabajos. Es importante mencionar que durante el desarrollo de la presente tesis, existió incertidumbre respecto al sitio de inicio de la línea proyectada, dedicándose tiempo adicional a la detección del conducto que sirviera de alimentación.

Para la localización de la línea de alimentación se destaparon las cajas de válvulas cercanas al trazo probable, verificando en cada caso que el diámetro del tubo fuera el adecuado para hacer la conexión de la línea de proyecto. Con apoyo en la información detectada en campo, se plantearon propuestas de trazo para la alimentación de la línea de proyecto, la cual se describe más adelante.



La banqueta sur de Boulevard del Temoluc, entre Av. Cuauhtemoc y Av. Puerto de Mazatlán.



La banqueta norte de la esquina que forman Calle Dos y Huitzilopochtli.



Trazo de la Línea de Proyecto para Propuesta de Inicio

Caja Inicial en Propuesta

Trazo de inicio para propuesta de inicio y caja inicial.



Sitio Propuesto para Pozo a Cielo Abierto

Otra vista del pozo a cielo abierto No.2

1.3 Marco físico y socioeconómico de la zona de estudio

Una vez realizada la visita a la zona de estudio o de proyecto y apoyándose en datos estadísticos se tienen las siguientes características físicas y socioeconómicas del lugar:

Físicas

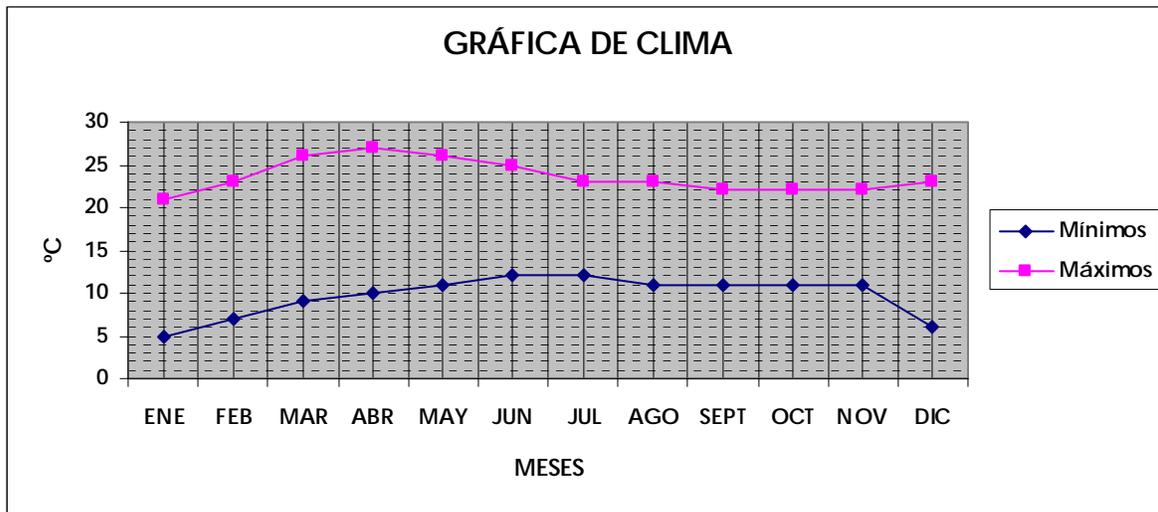
Se pudiera pensar que por su latitud (19° N) la Ciudad de México posee un clima subtropical, sin embargo la altura de 2,235 metros sobre el nivel del mar y la accidentada orografía que la separa de éste, la hacen un sitio de clima moderado (16°C en promedio), cuyas principales variaciones se dan a lo largo de una jornada: fresco durante la mañana y noche, y cálido durante el día. Este relativo aislamiento le resta humedad que se acentúa por la contaminación del aire, hecho que puede resultar molesto al principio, pero no tiene mayores consecuencias para quienes visitan la ciudad.

La Ciudad de México se divide en 17 delegaciones políticas y dentro de esa división se localiza la zona de estudio en la delegación Gustavo A. Madero. Las coordenadas geográficas extremas de la delegación son al norte 19° 36´, al sur 19° 27´, al oeste 99° 11´. **Específicamente la zona de estudio se localiza entre la latitud norte 19°29´, oeste 99°07´ y norte 19°32´ oeste 99°08´.**

La delegación Gustavo A. Madero representa el 5.9% de la superficie total del distrito federal, colinda al norte y al este con el Estado de México; al sur con las delegaciones Venustiano Carranza y Cuauhtémoc, al oeste con la delegación Azcapotzalco y el Estado de México.

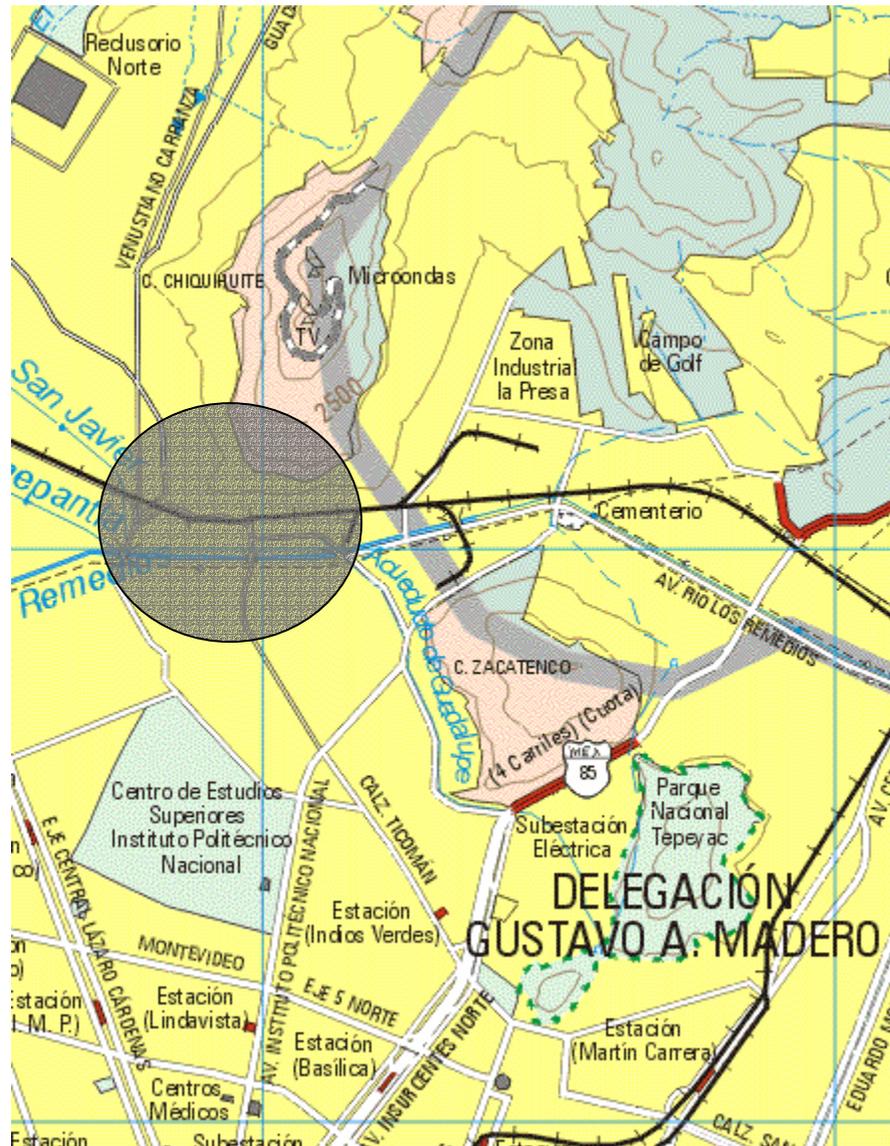
Las elevaciones cercanas a la zona de proyecto son el cerro del Chiquihuite y el cerro Zacatenco con una altitud de 2730 msnm y 2500 msnm respectivamente. En el valle de México se perciben dos ciclos climáticos: la estación húmeda, de mayo a septiembre, en la que los cielos permanecen nublados la mayor parte del tiempo aunque la lluvia suele presentarse desde la tarde hasta la noche; en la estación seca, correspondiente a Octubre-Abril la insolación aumenta las concentraciones de Ozono, emitidas por los automóviles. Sin embargo las temperaturas son bastante homogéneas durante el año, a diferencia de lo que ocurre en el transcurso de cada día, como se observa a continuación:

Enero	05°-21°C
Febrero	07°-23°C
Marzo	09°-26°C
Abril	10°-27°C
Mayo	11°-26°C
Junio	12°-25°C
Julio	12°-23°C
Agosto	11°-23°C
Septiembre	11°-22°C
Octubre	11°-22°C
Noviembre	11°-22°C
Diciembre	06°-23°C



La localización de la zona de estudio es demarcada por las colonias: Acueducto de Guadalupe, Santa Ma. Ticomán, La Candelaria Ticomán, Acueducto Zona Residencial, hacia el noreste de esta zona se tiene como referencia el Reclusorio Norte y hacia el norte se ubica el Cerro del Chiquihuite, el acceso al sitio de estudio se hace a través de la Avenida Miguel Bernard ubicada en la colonia Industrial Vallejo, cruzando el Río de los Remedios y continuando a través de la calle Río San Javier, así mismo si uno se encuentra más hacia el norte del lugar poniendo como ejemplo la

colonia Jorge Negrete, uno podrá acceder por las calles de Avenida Puerto de Mazatlán o por la Avenida Cuauhtepec hasta atravesar el cruce de ferrocarril.



Socioeconómicas

Al recorrer las avenidas y calles por las cuales se puede acceder a la zona de estudio se pueden observar edificaciones de interés social, se aprecia también que el transporte público es bastante completo ya que transitan camiones, peseros, taxis, al adentrarse más hacia la zona de estudio se observa el Río San Javier, cuentan también con energía eléctrica, teléfonos públicos, centros de salud tanto del ISSSTE como del IMSS, se aprecia también un número considerable de gasolineras, una de estas se encuentra ubicada en la Av. Cuauhtepac, también hay puestos de alimentos en la vía pública (carnitas, quesadillas, fritangas, etc.).

Existen comercios tales como tiendas o misceláneas, vidrierías, talleres mecánicos, ferreterías y farmacias por mencionar solamente las más comunes, hay mercados y supermercados como son las Bodegas de Aurrera y Comercial Mexicana.

Se pueden observar también los conocidos graffiti sobre las paredes de un sin número de viviendas y locales establecidos, en las fachadas de las viviendas la gran mayoría presenta desperfectos en sus acabados y de hecho en algunas de las viviendas tienen por acabo final únicamente el ladrillo con el que fueron construidas, un claro ejemplo de esta situación se nota en la calle tres, ya que hay una vivienda en la que se encuentra una escalera metálica sobre el arrollo vehicular para tener acceso a una puerta ubicada en el segundo piso de la vivienda así también como el ancho de calle es reducido pues al menos cabrían dos vehículos lado a lado y no permitirían el paso de los transeúntes pues las banquetas serán de unos escasos 50 cm. o sea una mínima banqueta.

Por lo que se puede observar las calles en su gran mayoría encuentran un serio desnivel, los postes de servicio tanto de energía eléctrica como de teléfono se encuentran en algunos casos casi a la mitad de la calle se puede observar esto en la calle Huitzilopochtli, en esta calle tampoco se puede acceder en vehículo por el desnivel tan pronunciado que presenta en lugar de un pavimento común en el ancho de vía existen escalones para que la gente puede ascender y descender hacia sus viviendas, así mismo hay pavimentación de concreto, asfalto y en algunos casos no hay pavimentación en las calles.

En general el área de proyecto se le puede considerar como una zona en la que los habitantes cuentan con todos los servicios públicos (teléfono, energía eléctrica, drenaje, etc.), cuentan con los

señalamientos de tránsito requeridos por la Secretaría de la Seguridad Pública, existen también áreas de recreación, que se encuentran en condiciones deplorables, siendo estas en su gran mayoría carentes de áreas verdes. El nivel socioeconómico de la gente en general es bajo, con notorias carencias en casa habitación, vestido, nivel escolar, culturales, etc., la principal fuente de ingreso es de comercio ambulante y el comercio establecido es talleres mecánicos, misceláneas, pequeñas cocinas económicas etc.

CAPÍTULO 2.

ESTUDIOS DE CAMPO Y GABINETE

2.1 Trabajos topográficos de campo y gabinete

En el trazo de la poligonal de apoyo se utilizó equipo topográfico del tipo Estación Total (teodolito y distanciómetro integrados). Cumpliendo con lo indicado en los términos de referencia del proyecto, las nivelaciones se realizaron con nivel automático del tipo NA-2 y estatales convencionales.

2.1.1 Trazo de Poligonal de Apoyo

Para apoyar los trabajos topográficos se levantó una poligonal abierta con precisión angular de $\pm 2''$ por cada vértice. Los vértices y puntos de referencia se indicaron mediante pintura y clavos hilti.

La nivelación de la poligonal de apoyo se realizó cumpliendo con la tolerancia altimétrica permitida, misma que se calculó mediante la siguiente expresión:

$$T = \pm 4\sqrt{K}$$

Donde:

T: Tolerancia Altimétrica, en milímetros

K: Distancia de Desarrollo de la Nivelación en un solo Sentido, en Kilómetros

2.1.1.a Levantamiento de Planimetría y Altimetría de Infraestructura Existente

Los levantamientos planimétricos se realizaron por el método de radiaciones tomando como apoyo los vértices de la poligonal. Se ubicó perfectamente estructuras tales como paramentos, guarniciones, ríos, infraestructura hidráulica de agua potable, drenaje, Telmex, Compañía de Luz, vías de ferrocarril y árboles.

Con objeto de verificar en campo la información de la infraestructura hidráulica localizada en planos, se sondearon las cajas de agua potable y los pozos de visita de la red de drenaje, revisando en el caso del agua potable el nivel de la caja, las piezas especiales que forman el cruce y, el

diámetro y material de las tuberías. En el caso de la red de drenaje se verificó los diámetros de las tuberías y las profundidades de las plantillas de los mismos.

El levantamiento planimétrico cubrió la superficie necesaria para demarcar sobre planos el área de proyecto.

2.1.2 Nivelación de Perfil

Se corrieron nivelaciones ordinarias a lo largo del eje del trazo propuesto para la línea de conducción. La nivelación se realizó por métodos directos e indirectos según fue necesario.

La tolerancia permitida para la nivelación del perfil fue de:

$$T = \pm 4\sqrt{K}$$

2.1.2.a Nivelación Diferencial para Liga de Banco de Nivel, Mojoneras Existentes y Repuestas.

Para referenciar el levantamiento planimétrico y altimétrico a la red de bancos de nivel de la dependencia, se realizó una nivelación diferencial de precisión entre el banco de nivel oficial denominado B (N08-W01)1 y un banco arbitrario. Esta nivelación sirvió para uniformizar el sistema altimétrico utilizado en los trabajos topográficos, con el de toda la infraestructura hidráulica de la Ciudad de México.

El banco de nivel oficial denominado B(N08-W01)1 se localiza en Av. Cuauhtepac, sobre la banqueta, en el límite del predio que ocupa el inmueble de la Comisión Nacional de Zonas Áridas, y tiene una elevación de 2,242.475 msnm al 11 de junio de 1998.

Para la nivelación diferencial de precisión la tolerancia permitida fue de:

$$T = \pm 2\sqrt{K}$$

2.1.3 Cálculo y Elaboración de Planos Topográficos

En forma conjunta a la realización de los trabajos topográficos de campo, se llevaron a cabo los trabajos de gabinete consistentes en el cálculo de tolerancias, errores angulares, precisiones lineales, coordenadas, perfiles del terreno y finalmente el planteamiento gráfico de la planimetría existente, que se refleja en los planos topográficos del levantamiento, conteniendo la siguiente información básica:

- Planteamiento de la Poligonal para la Referencia en el Cálculo de Coordenadas,
- Numeración de Vértices,
- Nomenclatura de Calles,
- Planimetría de la Zona Específica,
- Descripción de Bancos de Nivel,
- Coordenadas,
- Orientación Magnética,
- Croquis de Localización,
- Escala,
- Simbología y
- Notas

Los cálculos topográficos necesarios para la elaboración de los planos se realizaron mediante recursos computacionales. Los resultados del levantamiento se presentan en un plano de Planta escala 1:500.

2.2 Estudio de mecánica de suelos

De acuerdo a los alcances del proyecto, para la realización del estudio de mecánica de suelos se planteo la excavación de dos Pozos a Cielo Abierto (PCA) de aproximadamente 2 m de profundidad, en los que se debía obtener una muestra por cada estrato detectado para determinar en laboratorio las características y propiedades índice del material que conforma el subsuelo.

Las características y propiedades a determinar a partir de cada muestra son:

- Clasificación visual y al tacto
- Contenido de agua
- Límite plástico y líquido
- Límite de contracción

El conocimiento de estas propiedades tiene por objeto determinar si el material excavado puede emplearse como relleno de zanjas, lo anterior con el fin de garantizar la estabilidad y funcionalidad de las tuberías y estructuras que se marquen en el proyecto.

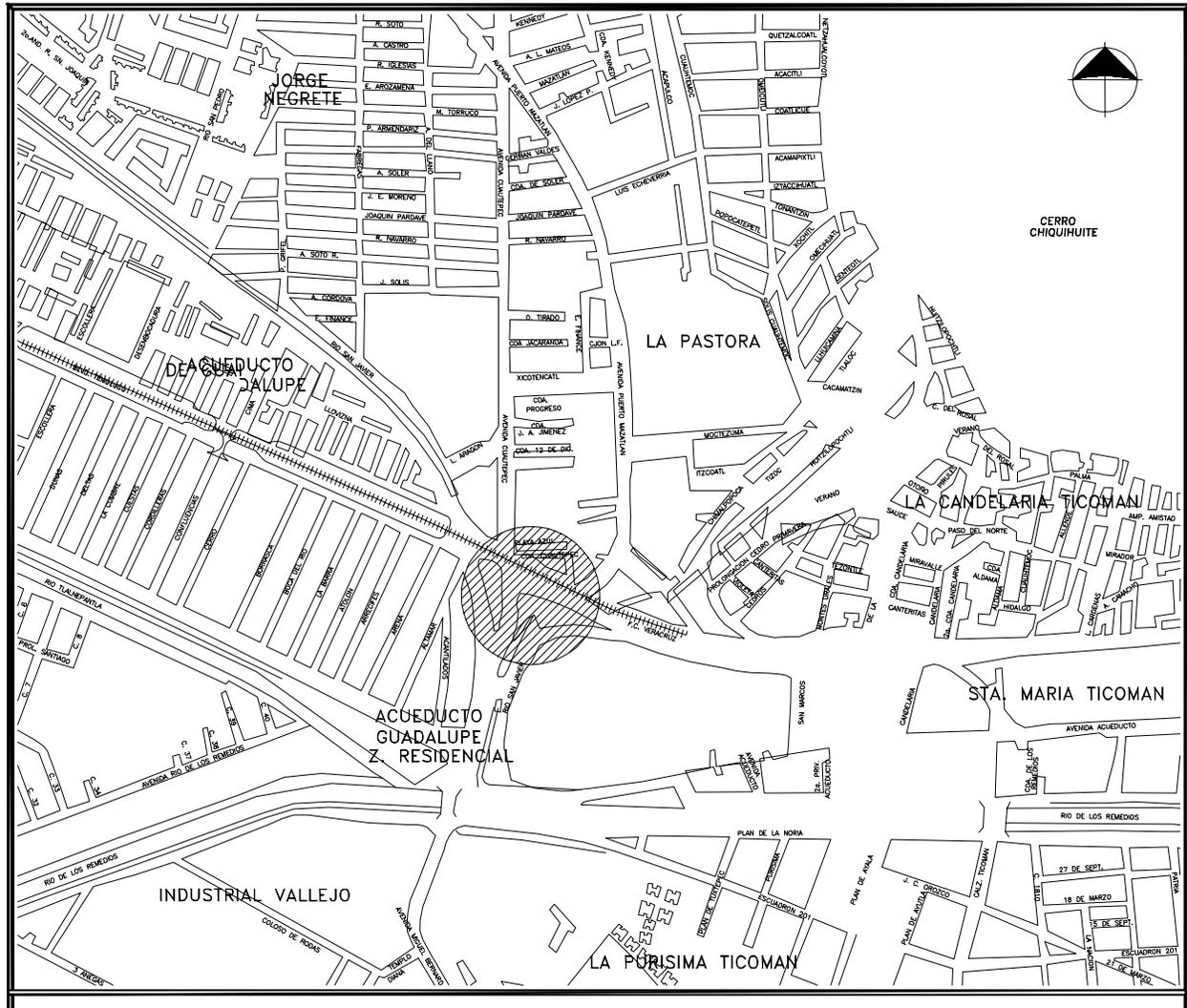
La excavación de los PCA se efectuó en los sitios propuestos durante los recorridos de campo. A continuación se presentan los resultados obtenidos en la exploración geotécnica realizada en cada pozo.

2.2.1 Descripción Geotécnica de la Zona

El trazo de la conducción se desarrolla principalmente en el Cerro del Chiquihuite, por lo que según la clasificación del terreno para el Distrito Federal, la línea se construirá en la denominada Zona de Lomeríos.

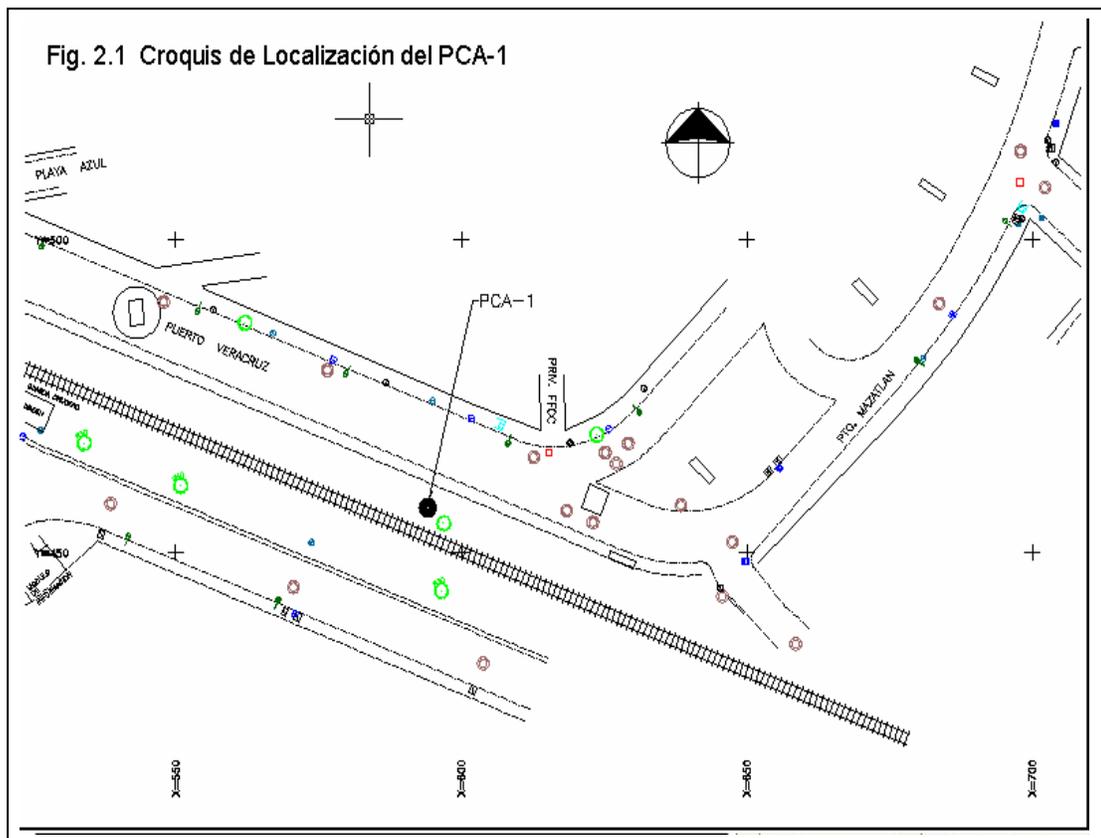
Por otra parte, de acuerdo a los resultados de la exploración geotécnica, el subsuelo de esta zona esta constituido principalmente por depósitos de arenas de origen volcánico de alta resistencia al esfuerzo cortante, escoria volcánica, además de una capa dura de roca denominado pórfido reolítico.

Croquis de la Zona de Estudio



2.2.2 Sondeo PCA-1

El PCA-1 se localiza en la banqueta sur de Bulevar del Temoluco, entre las avenidas Cuauhtemoc y Puerto de Mazatlán. En la Fig. 2.1 se presenta el croquis de localización.



En este pozo se detectaron dos estratos con las siguientes características:

Primer Estrato

Profundidad	0.00 a 0.10 m
Tipo de Material	Tierra Vegetal

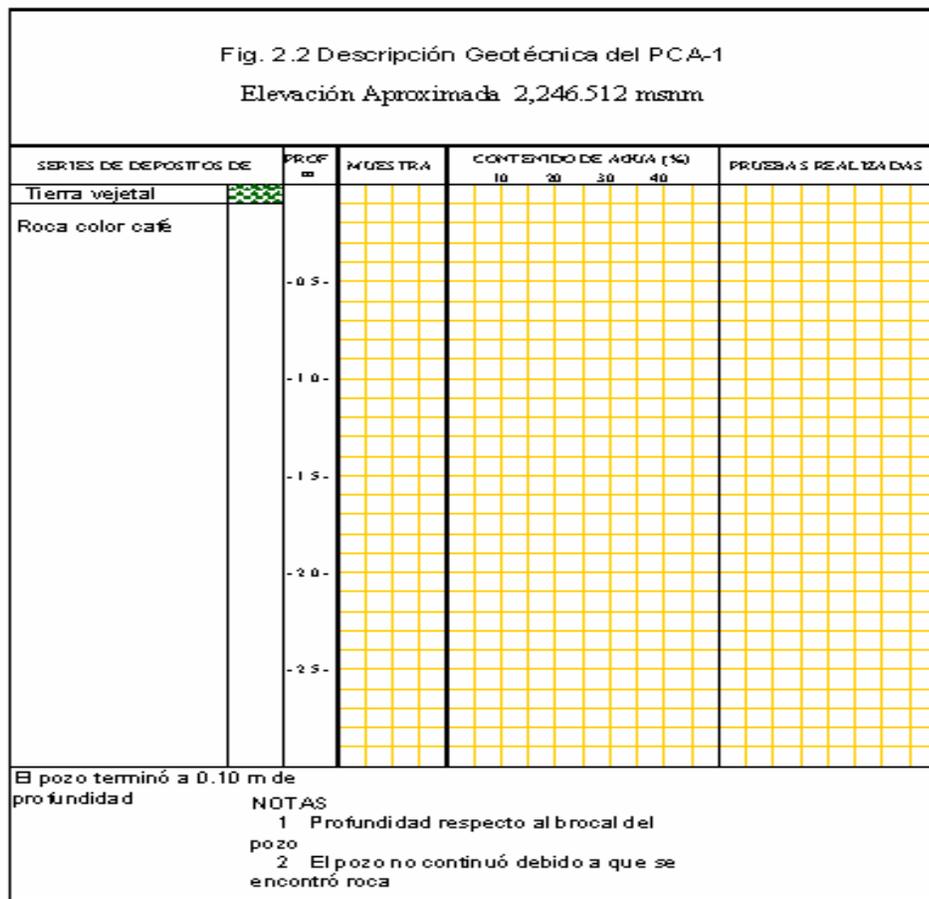
Segundo Estrato

Profundidad	0.10 m –
-------------	----------

Tipo de Material Roca color café

Es importante mencionar que el PCA-1 no se terminó con la profundidad requerida, debido a que se encontró roca sana a los 10 cm. Se realizaron calas para detectar la extensión del macizo rocoso, encontrando que este es continuo en buena parte del trazo propuesto en la zona.

En la Fig. 2.2 se presenta el perfil estratigráfico del PCA-1.





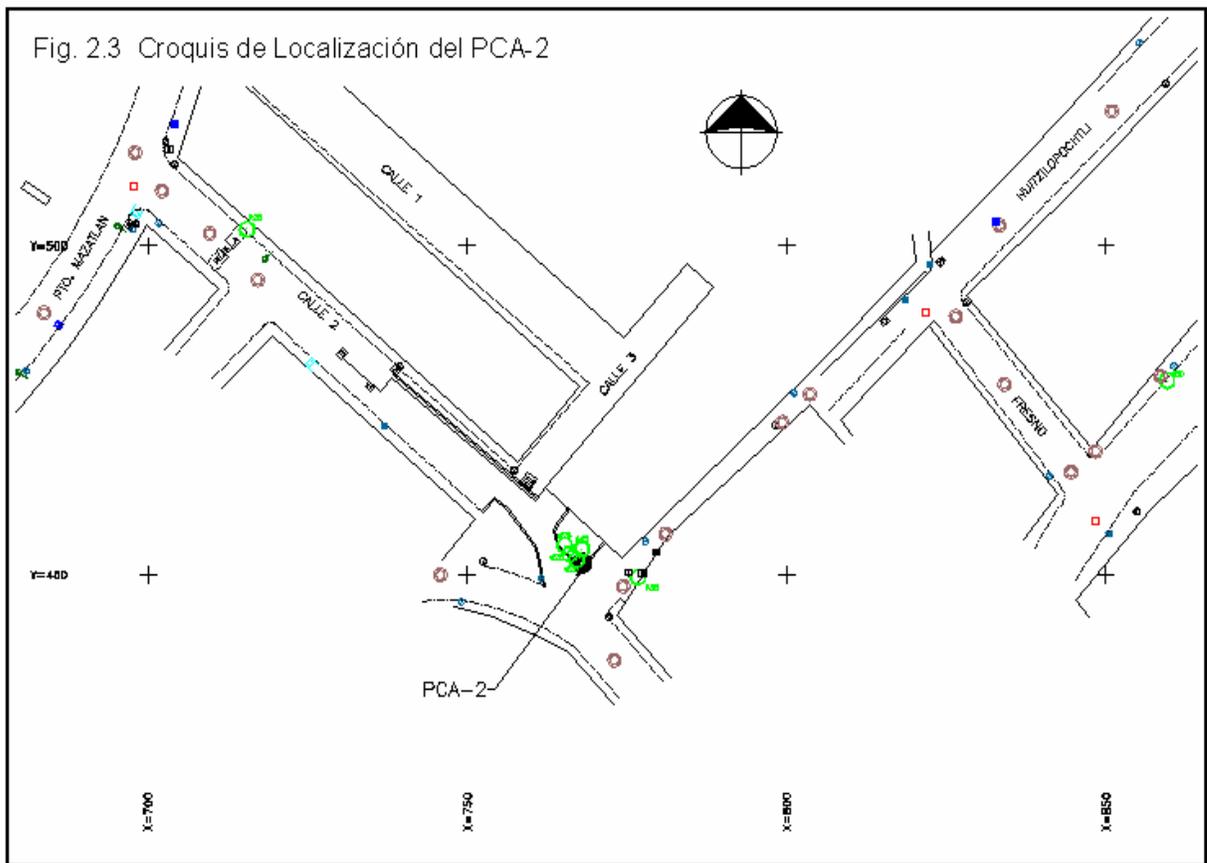
Aspecto general del PCA-1 localizado en Boulevard del Temoluco, entre Av. Cuauhtepac y Av. Puerto de Mazatlán



Aspecto de la inspección geotécnica del PCA-1

2.2.3 Sondeo PCA-2

El PCA-2 se localiza en la jardinera norte de la esquina que forman Calle Dos y Huitzilopochtli. En la Fig. 2.3 se presenta el croquis de localización.



En este pozo se detectaron tres estratos con las siguientes características:

Primer Estrato

Profundidad	0.00 a 0.40 m
Tipo de Material	Limo arenoso color café con raíces y poca arcilla

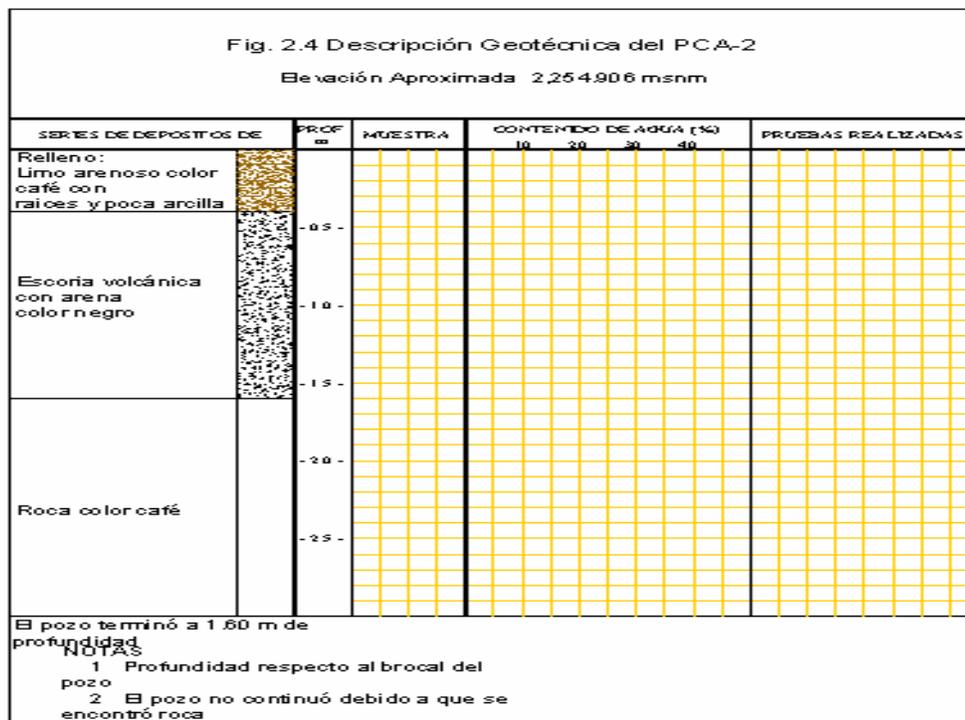
Segundo Estrato

Profundidad	0.40 a 1.60 m
-------------	---------------

Tipo de Material Escoria volcánica con arena color negro
 Tercer Estrato
 Profundidad 1.60 m -
 Tipo de Material Roca color café

De la inspección visual realizada en este sitio se observa roca superficial, que en algunos casos se encuentra cubierta por rellenos de materiales diversos, realizados por los colonos de la zona.

En la Fig. 2.4 se presenta el perfil estratigráfico del PCA-2.



De la exploración geotécnica se recomienda que el material producto de la excavación sea retirado, y en su lugar se acostillen los tubos y se rellenen zanjas con "tepetate", en capas de 20 cm. compactadas al 90% de la prueba Proctor Estándar.



Aspecto del PCA-2



Aspecto del desplante de casa habitación sobre el macizo rocoso, tomada desde el interior de la construcción. La casa se ubica en la esquina que forman Calle dos y Calle tres

CAPÍTULO 3.

ESTUDIO DE POBLACIÓN

3.1 Predicción de la Población.

Es un hecho que dentro de la planeación de un sistema de abastecimiento de agua potable sea necesario determinar la población de la localidad en especial al final del periodo económico de la obra proyectada, pero para efectos de este trabajo será necesario el considerar que no se trata de un sistema nuevo, por el contrario, se trata de una localidad establecida que viene creciendo en forma extrema.

La zona de Cuauhtepac en el cerro del Chiquihuite se encuentra sobre poblada y esto dificulta gravemente para tener la capacidad de dotar de agua a las colonias de reciente formación, en consecuencia los proyectos y obras realizadas con anterioridad son completamente insuficientes y aunado a que están situadas en zonas altas disminuyen considerablemente el caudal disponible, por lo que se ven afectadas con la falta del recurso.

El crecimiento anual ha venido disminuyendo gradualmente en la zona de proyecto, ya que para este año se tiene únicamente el 0.2%, que al momento de hacer una comparativa en datos estadísticos en los años 50's, se tiene una disminución del 7% en términos de crecimiento, lo que nos representa que se trata de una zona altamente saturada, pero no hay que olvidar que la población seguirá aumentando.

El periodo económico de las redes de distribución y líneas de conducción sobre pasaron su periodo económico ya que fueron diseñadas a finales de los 80's y principios de los 90's, en donde se tenía una población de 47,112 habitantes según estadísticas a los cuales se les dotaba del vital líquido con un gasto medio de 109.05 lps y un máximo diario de 0.152 m³/s.

El estudio contempla las colonias de reciente formación como son, La Pastora, Barrio la Candelaria Ticomán, Barrio San Juan Ticomán y Barrio Guadalupe Ticomán

A continuación se tienen ciertos datos estadísticos que se obtuvieron en oficinas del INEGI con los cuales se muestra las diferencias del crecimiento de la población

ESIA ZACATENCO
Instituto Politécnico Nacional

Entidad: 09 Distrito Federal

Clave Geoestadística 090050305

Localidad: La Pastora

Entidad: 09 DISTRITO FEDERAL
Municipio: 005
Clave Geoestadística: 090050305
Latitud: 00° 00' 00"
Longitud: 000° 00' 00"
Altitud: 0000
Carta Topográfica: 0000000
Tipo: Rural



Nombre de Localidad	Nombre del Municipio	Categoría	Origen de Modificación	
LA PASTORA	GUSTAVO A. MADERO	COLONIA	LEY ORGANICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL DEL 29 DE DICIEMBRE DE 1970. CONURBADA A LA LOCALIDAD GUSTAVO A. MADERO 0001.	
Evento Censal	Fuente	Total de Habitantes	Hombres	Mujeres
2000	CENSO	00018407	0009571	00008836

Entidad: 09 Distrito Federal

Clave Geoestadística 090050370

Localidad: Barrio de Guadalupe

Entidad: 09 DISTRITO FEDERAL
Municipio: 005
Clave Geoestadística: 090050370
Latitud: 00° 00' 00"
Longitud: 000° 00' 00"
Altitud: 0000
Carta Topográfica: 0000000
Tipo: Rural



Nombre de Localidad	Nombre del Municipio	Categoría	Origen de Modificación	
TICOMAN BARRIO DE GUADALUPE	GUSTAVO A. MADERO	COLONIA	LEY ORGANICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL DEL 29 DE DICIEMBRE DE 1970.	
TICOMAN BARRIO DE GUADALUPE	GUSTAVO A. MADERO	COLONIA	CENSO DE 1980. CONURBADA A LA LOCALIDAD GUSTAVO A. MADERO 0001.	
Evento Censal	Fuente	Total de Habitantes	Hombres	Mujeres
2000	CENSO	00014635	00007611	00007024

Entidad: 09 Distrito Federal

Clave Geoestadística 090050370

Localidad: Barrio de Guadalupe

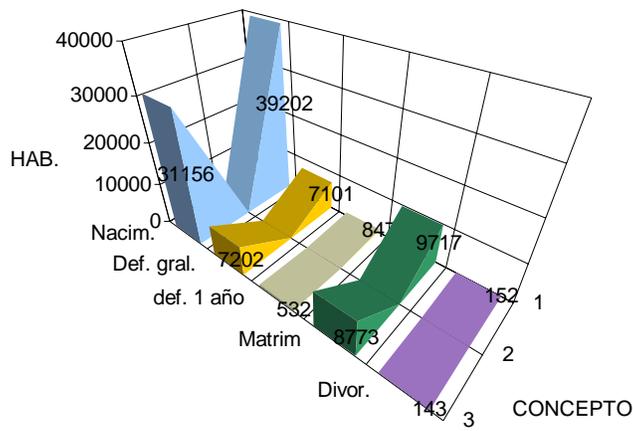
Entidad: 09 DISTRITO FEDERAL
Municipio: 005
Clave Geoestadística: 090050378
Latitud: 00° 00' 00"
Longitud: 000° 00' 00"
Altitud: 0000
Carta Topográfica: 0000000
Tipo: Rural

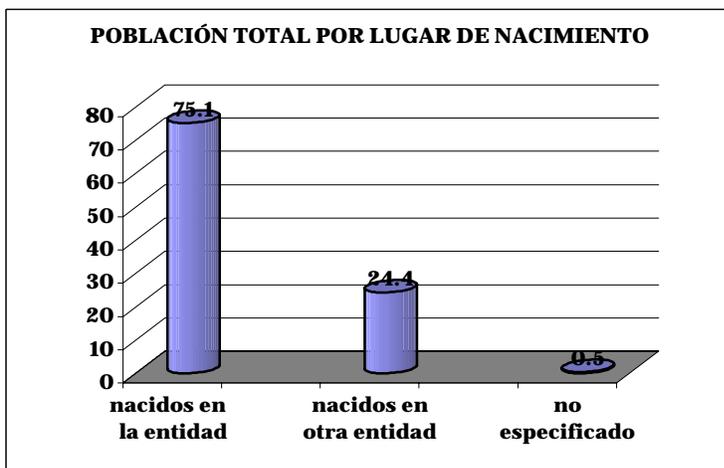
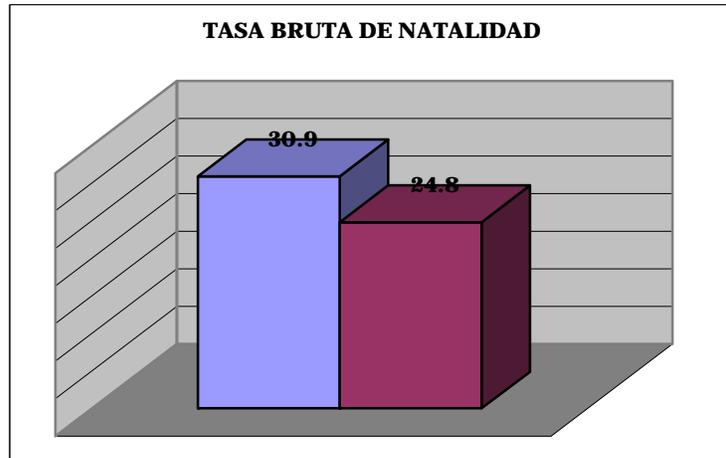
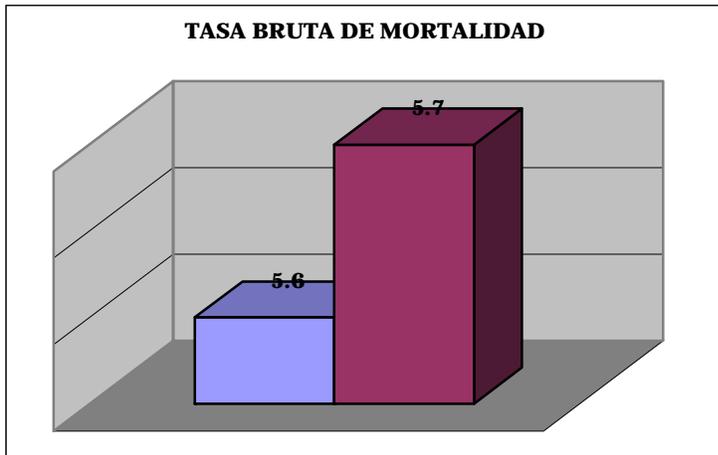


Nombre de Localidad	Nombre del Municipio	Categoría	Origen de Modificación	
BARRIO CANDELARIA	GUSTAVO A. MADERO	COLONIA	LEY ORGANICA DEL DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL DEL 29 DE DICIEMBRE DE 1970.	
BARRIO SAN JUAN	GUSTAVO A. MADERO	COLONIA	CENSO DE 2003. CONURBADA A LA LOCALIDAD GUSTAVO A. MADERO 0001.	
Evento Censal	Fuente	Total de Habitantes	Hombres	Mujeres
2000	CENSO	00040587	00021105	00019482

CONCEPTO	Zona de Proyecto	
	1995	Actual
NACIMIENTOS	39202	31156
Hombres	20066	16025
Mujeres	19124	15129
No especificado	12	2
DEFUNCIONES GENERALES	7101	7202
Hombres	3726	3790
Mujeres	3369	3411
No especificado	6	1
DEFUNCIONES DE MENORES DE 1 AÑO	847	532
Hombres	469	314
Mujeres	372	218
No especificado	6	—
MATRIMONIOS	9717	8773
DIVORCIOS	152	143

TABLA DE NACIMIENTOS, DEFUNCIONES, MATRIMONIOS Y DIVORCIOS 1995 Y ACTUALES.





Cabe aclarar que la predicción de la población se debe realizar a través de distintos métodos como el geométrico, el de mínimos cuadrados, el aritmético, etc., pero al no ser este un proyecto desde sus inicios, y a que la población en la zona de estudio no incrementará en los años venideros, podemos entonces establecer la población del proyecto de **73,629 habitantes** asentados en las colonias, La Pastora, Barrio la Candelaria Ticomán, Barrio Guadalupe Ticomán y Barrio San Juan Ticomán.

CAPÍTULO 4.
DETERMINACIÓN DE LOS DATOS
BÁSICOS DE PROYECTO

Para la presente Tesis se requiere de una serie de estudios y de cálculos dentro de los cuales lo principal es la determinación de los datos básicos de proyecto.

4.1 Estudio de dotación

Se entiende por dotación la cantidad de agua que se asigna a cada persona por día y se expresa en l/h/d (litros por habitante por día). Esta dotación es una consecuencia del estudio de las necesidades de agua de una población, quien la demanda para diversos usos como para saciar la sed, para la preparación de los alimentos, para el aseo de cada individuo, para el aseo de utensilios y vestido, así como también intervienen factores climatológicos.

La dotación en la zona de estudio es de 202 l/h/d.

4.2 Variaciones de consumo

Un sistema es eficiente cuando en su capacidad está prevista la máxima demanda de una localidad. Para diseñar las diferentes partes de un sistema se necesita conocer las variaciones mensuales, diarias y horarias del consumo. Interesan las demandas medias, las máximas diarias y las máximas horarias. Estas demandas que representan volumen de agua en la unidad de tiempo se les llaman “gastos”. Así tenemos el “gatos medio diario” (Q.m.), el “gasto máximo diario” (Q.m.d.), y el “gasto máximo horario” (Q.m.h.).

4.3 Gasto medio diario

Es el gasto que en término medio se consume en un día cualquiera del año; se obtiene de la siguiente manera:

$$Q.m. = \left(\frac{P * D}{86400} \right)$$

P = Población

D = Dotación en l/h/d

$$Q.m. = 73629 \times 202 / 86400$$

$$Q.m. = 172.14 \text{ lps}$$

4.4 Gasto máximo diario

El consumo medio anual sufre variaciones en más y en menos, pues hay días que por la actividad, la temperatura u otra causa, se demanda un consumo mayor que el medio anual; este en más se estima que fluctúa entre 120 y 180 %, pero en poblados pequeños llega a 200 %. En general en la República Mexicana el máximo consumo se registra entre mayo y julio. Al máximo consumo diario se le llama “gasto máximo diario” y el coeficiente con que se afecta al “gasto medio diario”, para la obtención de ese gasto máximo diario” se le llama “coeficiente de variación diaria”. Este gasto es el que se debe aportar como mínimo la fuente de abastecimiento, y es el que debe llevar la línea de conducción. Se representa por Q.m.d. y se expresa el l.p.s.

Se tiene un Coeficiente de Variación Diaria (CVD) de 1.40

$$(Q_{MD}) = Q.m. * CVD$$

Q_{MD} = Gasto máximo diario

Q.m. = Gasto medio diario

CVD = Coeficiente de variación diaria

$$Q_{MD} = 0.172 * 1.40$$

$$Q_{MD} = 0.241 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.5 Gasto máximo horario

A su vez el “gasto máximo diario” sufre variaciones en las distintas horas del día, por lo que en el día mayor de consumo lo que interesa saber en que hora de las 24 horas se requiere mayor gasto. Se ha observado que en las horas de mayor actividad se alcanza un 150% del “gasto máximo diario”. A esta variación del consumo se le llama “gasto máximo horario” y al coeficiente con que se afecta al “gasto máximo diario” se le llama “coeficiente de variación horaria”. Se representa por Q.m.h. y se expresa en l.p.s.

Se tiene un Coeficiente de Variación Horaria (CVH) de 1.55

$$(Q_{MH}) = Q_{MD} * CVH$$

Q_{MH} = Gasto máximo horario

Q_{MD} = Gasto máximo diario

CVD = Coeficiente de variación horaria

$$Q_{MH} = 0.241 * 1.55$$

$$Q_{MH} = \mathbf{0.374 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Datos generales de proyecto

Población de Proyecto:	Pob = 73,629 hab
Dotación:	Dot = 202 l/hab/día
Gasto Medio Diario :	Qm = 0.172 m³/s
Coeficiente de Variación Diaria:	CVD = 140 %
Gasto Máximo Diario:	Q_{MD} = 0.241 m³/s
Coeficiente de Variación Horaria:	CVH = 155 %
Gasto Máximo Horario:	Q_{MH} = 0.374 m³/s

CAPÍTULO 5.

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

5.1 Propuestas de trazo de la línea de conducción.

Con la finalidad de obtener la mejor solución que cumpla con los aspectos técnico y económico del proyecto de la línea de conducción, se plantearon cinco propuestas de trazo, las cuales representan posibles alternativas de solución. Estas propuestas se realizaron con base en la problemática observada durante los recorridos de campo, así como en los planos del proyecto existentes del área de estudio.

Por tratarse de la sustitución de una línea en operación, cada una de las propuestas considera un trazo nuevo que pretende interferir lo menos posible con el funcionamiento del conducto existente. Se destaparon las cajas de válvulas visibles en la zona de estudio, con objeto de determinar con la mayor precisión posible la ubicación de la línea a remplazar, pero ante la incertidumbre que resulta por la falta de elementos que permitan considerar los cambios de dirección en los tubos, ligados estos a la gran cantidad de infraestructura hidráulica localizada en las vialidades, se recomienda, hacer calas en los tramos donde exista duda o así se indique en los planos de proyecto, por lo que se entiende que los trazos propuestos no son definitivos, sino que de estos dependerá la obtención de las alternativas de solución al problema de la línea de conducción de agua potable.

Con el objeto de establecer un seguimiento que nos permita conocer los inconvenientes para realizar cada una de las propuestas, se describirá a continuación la problemática que se presentó y los motivos por los cuales fueron descartadas, así como también cuales fueron las que técnica y económicamente resuelven el problema.

5.1.1 Propuesta de Trazo No. 1

Esta considera que la línea de proyecto se alimenta de una tubería de 20" de diámetro localizada en la calle Río San Javier, de donde parte hacia el Tanque - Rebombeo GM-11, siguiendo las calles Boulevard del Temoluco, Av. Puerto de Mazatlán, Calle Uno, Calle Tres, Calle Dos, Huitzilopochtli y Verano, para llegar a la parte posterior de la estructura.

El trazo de la línea se plantea principalmente por el arroyo vehicular de las calles antes mencionadas, cruzando en un principio el Río San Javier, de margen derecha a margen izquierda. En el tramo inicial se cruza también la Av. Cuauhtemoc, en donde hay que librar tres líneas de agua potable, dos de 12" de diámetro y una más de 72".

En el trazo por Boulevard del Temoluco, entre las avenidas Cuauhtemoc y Puerto de Mazatlán, la línea de proyecto se propone por la banqueta sur, librando con ello las lumbreras y cajas de la infraestructura de drenaje de la zona. Al llegar a la Av. Puerto de Mazatlán, el trazo se incorpora al arroyo vehicular evitando las pilas del paso a desnivel que comunica a Puerto de Mazatlán con Miguel Bernard. En este sitio, el trazo se desarrolla con dirección de Sur a Norte por la lateral Oriente de Av. Puerto de Mazatlán, hasta el entronque con Calle Uno, en donde da vuelta a la derecha para continuar por la misma hasta el final de la calle.

En el punto antes mencionado el trazo da vuelta a la derecha, continuando por Calle Tres hasta llegar a Calle Uno, en donde hay que librar inicialmente la línea de 12" existente que sube por el lado Poniente de la vialidad. Una vez que se libra la conducción existente, el trazo da un viraje a la izquierda, para seguir subiendo hasta la calle Huitzilopochtli, en donde la infraestructura hidráulica de agua potable y drenaje, teléfonos y compañía de luz, dificultan de manera importante la propuesta de trazo y la construcción de la línea. En esta calle, con tránsito exclusivamente peatonal en los primeros 50 m, se propone que la línea de proyecto se construya a flor de tierra por no existir espacio suficiente para realizarla en forma convencional. Es importante aclarar que el trazo por calle Huitzilopochtli es la alternativa con longitud de desarrollo más corta, lo que se refleja directamente en el costo de la obra, tomando en cuenta que se tiene como propuesta inicial el uso de tubería de acero; y en la carga disponible al final de la línea ya que se reducen las pérdidas de energía por fricción.

Una vez que se llega al entronque con calle Fresno, el trazo en Huitzilopochtli se facilita al ampliarse la vialidad, lo que permite incluso la circulación vehicular en el lapso de construcción.

A partir de este punto y hasta el entronque con calle Verano, el trazo de la línea se supone por el arroyo vehicular. En calle Verano el trazo quiebra a la derecha para subir por la misma hasta llegar a la parte trasera del predio que ocupa el Tanque – Rebombeo GM-11, donde termina la línea de conducción.

5.1.2 Propuesta de Trazo No.2

Esta considera en su parte inicial el mismo trazo que la propuesta No. 1, difiriendo a partir del entronque de Av. Puerto de Mazatlán con Calle Dos, en donde el trazo da vuelta a la derecha para subir hasta calle Huitzilopochtli. El trazo en Huitzilopochtli es idéntico al planteado en la propuesta No.1 en el tramo comprendido entre las calles Dos y Fresno, punto donde vuelve a diferir al girar a la derecha para subir por calle Fresno.

El trazo en calle Fresno se plantea por el lado Oriente de la vialidad, entre la guarnición y el colector ubicado al centro. Al llegar a calle Primavera, el trazo de la línea rota a la izquierda, ubicándose en el arroyo vehicular Sur. Desde este punto y hasta el Tanque – Rebombeo, el trazo del conducto de proyecto se propone por ese lado de la calle.

La llegada al Tanque – Rebombeo se recomienda por el frente, entrando al predio justo por el portón de acceso.

5.1.3 Propuesta de Trazo No. 3

Dado que no se encontró en campo el conducto de 20” de diámetro para hacer la alimentación de la línea de proyecto, se planteo, hacer una derivación de la línea actual en Av. Puerto de Mazatlán y Calle Dos.

El trazo hacia la estructura final es el mismo que el planteado para la Propuesta No.1, desde la derivación en el entronque de Av. Puerto de Mazatlán y Calle Dos, hasta el final del conducto en el Tanque - Rebombeo GM-11. La longitud total de la línea para esta propuesta es de 407 m.

5.1.4 Propuesta de Trazo No. 4

Ante la incertidumbre que representa la suficiencia de presión para llegar al Tanque – Rebombeo GM-11, se Propone lo siguiente, iniciar la línea de proyecto en el Rebombeo Aduana, poco después

de la aportación de caudal del último equipo de bombeo, lo que supone aprovechar el tren de descarga actual.

El trazo para esta propuesta se plantea por Calzada Ticomán, en forma paralela a la vía del ferrocarril y Boulevard del Temoluco. El trazo nuevo se incorpora al planteado en Boulevard del Temoluco para la propuesta No. 2, en un punto intermedio entre las avenidas Cuauhtemoc y Puerto de Mazatlán. La unión con el trazo de la propuesta No.2 considera que debe hacerse en forma perpendicular al eje de la vía de ferrocarril, por ser este el de menor afectación al derecho de vía del tren.

Una vez incorporado el trazo nuevo al planteado en la propuesta No.2, este es el mismo hasta el Tanque – Rebombeo GM-11. La longitud total de la línea para esta propuesta es de 665 m.

5.1.5 Propuesta de trazo No. 5

Ante la dificultad que implica la construcción del cruce de la línea de conducción por debajo de la vía del ferrocarril, se llega a la siguiente propuesta, dentro de la cual se pretende hacer el cruce en la alcantarilla del tren sobre el Río San Javier.

El trazo inicia de manera similar al de la Propuesta No.4, cruzando la línea de 72" ubicada frente al Rebombeo Aduana, para después dar un giro de 90° hacia la izquierda para seguir hasta encontrarse con la vía del tren, donde nuevamente da vuelta con la misma dirección para llegar al Río San Javier.

En este punto se determina que el conducto se asiente sobre el fondo del cauce, pasando por el claro en la margen izquierda que definen las pilas que soportan las vías del tren. Para proteger la tubería de la afectación que pudiese ocasionarle la corriente, se recomienda construir un muro de piedra braza que dirija el escurrimiento hacia el centro del cauce, resguardando a la vez los soportes de la alcantarilla.

Dado la falla estructural que presentan los muros que protegen la cimentación de la alcantarilla en la margen izquierda, se sugiere no colgar la línea de conducción de la superestructura del puente, ya que esto expone a vibración y desplazamientos a los tubos, lo que puede ocasionar fugas.

Una vez que la línea de conducción cruza la vía del tren, el trazo da vuelta a la derecha para proseguir hacia el Tanque - Rebombeo GM-11, incorporándose al planteado en Bulevar del Temoluco para la Propuesta No.2. A partir de este punto, el trazo es el mismo al de esa propuesta hasta el Tanque – Rebombeo GM-11. La longitud total de la línea para esta propuesta es de 828 m.

5.2 Alternativas de Trazo.

Al momento de analizar las propuestas se encontraron ciertos inconvenientes dentro de cada una de estas, ya sea por que no cumplían con las condiciones de carga en el punto de conexión o bien por que al momento de revisar en campo las cajas de válvulas eran inadecuadas para realizar la conexión, se expone a continuación de forma breve los motivos por los cuales fueron eliminadas y finalmente se obtuvieron las alternativas de solución al trazo.

Las principales razones por las que la propuesta No. 1 y No.2 no representaron una alternativa de solución fueron: que al momento de verificar la tubería de 20” detectada en planos para hacer la conexión sobre el Boulevard del Temoluco, era inexistente y en su caso se encontró una tubería de 12”, lo cual nos representa una carga de inicio similar a la actual, por lo que no se resuelve el problema de alimentación hacia el Tanque – Rebombeo GM -11. En el caso de la propuesta No.3 fue algo similar ya que se pretendía conectar la línea a una tubería existente localizada en Calle dos, casi en el entronque con Puerto de Mazatlán, pero al momento de calcular la carga hidráulica nos arrojó un dato menor al requerido para el abastecimiento.

Finalmente la Propuesta No. 4 y Propuesta No.5 cumplen las condiciones y a los requerimientos exigidos por la normatividad y con la carga disponible en el punto de conexión y se establece entonces las alternativas de Trazo No.1 y No.2 respectivamente

5.2.1 Alternativa de Trazo seleccionada.

Una vez comparados los resultados obtenidos tanto de la Alternativa No.1 como de la Alternativa No.2, su puede establecer que el trazo más conveniente para la construcción y operación de la línea de conducción es el planteado en la Alternativa No.2, ya que permite alimentar al Tanque

Rebombeo – GM-11 sin problema alguno de carga disponible en el punto de conexión y por el lado económico no sobrepasa el presupuesto otorgado por la dependencia.

Materiales propuestos

Ambas alternativas consideran al Acero como primera opción del material a emplear y al Polietileno de Alta Densidad como solución alterna.

Cuando la construcción de la línea considere Polietileno de Alta Densidad, en los sitios donde no se pueda alojar los tubos con el colchón mínimo establecido en normas, se debe usar tubería de acero.

Se presenta a continuación las ecuaciones de diseño consideradas para cada una de las alternativas y finalmente la memoria de cálculo de la Alternativa seleccionada del proyecto ejecutivo de la línea de conducción.

Consideraciones generales

La tubería seleccionada es de Acero al Carbón A-106, Grado B sin costura, Cédula 40, de 508 mm de diámetro exterior (20”), con las siguientes propiedades principales según la American Petroleum Institute (API).

Resistencia Mínima a la Tensión $R_t = 413 \text{ MPa}$, (4211.43 Kg/cm²)

Esfuerzo Mínimo de Cedencia $F_y = 241 \text{ MPa}$, (2457.52 Kg/cm²)

5.3 Ecuaciones de diseño.

Estas ecuaciones fueron establecidas por parte de la dependencia contratante, del mismo modo es lo que lo nos indican las normas de construcción del Distrito Federal en el Libro 2, parte 3 sección 4, dentro del capítulo 3 “líneas de construcción”, para la solución del problema en la determinación del diámetro y la resistencia de la tubería, se basa en el uso de las ecuaciones fundamentales de la hidráulica y las que recomienda y ha probado el fabricante para la selección de sus productos, además de considerar las especificaciones de diseño de instituciones como la DGCOH, CNA,

AWWA (American Water Works Association, por sus siglas en Inglés), API (American Petroleum Institute), y la ASTM (American Society for Testing Materials).

Selección del diámetro y espesor

El espesor de pared de la tubería por requerimiento de presión interna se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$t = \frac{P d_i}{2S} \quad (5.1)$$

Donde:

- t: Espesor de Pared Mínima, en mm.
- P: Presión de Diseño, en MPa
- d_i: Diámetro Interior del Tubo, en mm.
- S: Esfuerzo Permisible k*F_y, en MPa
- k: Factor de Seguridad, 0.50 para Condiciones Normales de Diseño y 0.75 para Condiciones Transitorias o Golpe de Ariete

El espesor mínimo por manejo, de acuerdo con la AWWA se obtiene de la siguiente expresión:

$$t_m = \frac{d_n}{288} \quad (5.2)$$

Donde:

- t_m Diámetro Mínimo por Manejo, en mm.
- d_n: Diámetro Nominal, en mm.

Sustituyendo : $t_m = \left(\frac{508mm}{288mm} \right)$

Tenemos que $t_m = 1.76mm$

Presión de colapso

Se hace necesario revisar si la tubería sufrirá una deformación permanente debido a la presencia de presiones externas o vacuométricas, como la producida por la onda de retorno de los fenómenos transitorios de presión o mejor conocidos como “Golpe de Ariete”, este fenómeno produce presiones al interior de la tubería por debajo de la atmosférica, originando deformaciones permanentes de la tubería o de colapso.

La presión límite de colapso se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_c = \frac{2E}{(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{dm} \right)^3 \quad (5.3)$$

donde:

- P_c: Presión Crítica de Colapso, en MPa
- E: Modulo de Elasticidad, en MPa; (205,940 MPa)
- μ: Relación de Poisson (0.3 para la Tubería de Acero)
- t: Espesor de la Pared de la Tubería, en mm
- dm: Diámetro Medio de la tubería, en mm

El valor resultante se compara con la variación de presión debida a un cambio brusco en la velocidad de flujo, debiéndose corregir de ser necesario el valor del espesor de la tubería.

Cálculo del diámetro interior

Para el cálculo del gasto se utiliza la ecuación de continuidad $Q = VA$. En el cálculo del gasto es importante recordar el límite en el rango de velocidades propuesta por las normas de CNA para este tipo de tuberías.

Condición	Velocidad
Máxima	5.0 m/s
Mínima	0.6 m/s

Modificando la ecuación de continuidad para expresarla en función de la velocidad y del diámetro de la conducción se obtiene:

$$Q = 0.7854 * V * d^2 \quad (5.4)$$

Donde:

- Q: Gasto, en m³/s
- V: Velocidad de Flujo, en m/s
- d: Diámetro Interior, en m

Despejando el diámetro de la ecuación (5.4), resulta:

$$d = \left(\frac{Q}{0.7854 * V} \right)^{1/2} \quad (5.5)$$

El valor obtenido debe afectarse por un factor que depende de la relación D/t, para obtener el diámetro exterior y nominal de la tubería, dependiendo claramente de la presión de diseño de la tubería.

Criterio de Marquardt

Establecida para sistemas de bombeo intermitente, se tiene la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt[4]{\beta K \sqrt{Q}} \quad (5.7)$$

Donde:

- D: Diámetro Económico, en m
- β : Número de Horas Diarias de Servicio Real / 24 Horas del Día
- K: Coeficiente de Bresse, (1.2) Adimensional
- Q: Gasto, en m³/s

Criterio de Bresse

Para sistemas de bombeo continuo se establece la siguiente ecuación:

$$D = K\sqrt{Q} \quad (5.8)$$

Donde:

- D: Diámetro Económico, en m
- K: Coeficiente de Bresse, (1.2) Adimensional
- Q: Gasto, en m³/s

Criterio de Capps

Este criterio establece una velocidad de flujo óptima o de menor fricción posible considerando la viscosidad del flujo, este valor depende de la ecuación proporcionada por el modelo de probabilidad de Harris, que establece:

$$V = \frac{1}{-0.001955 + 0.07516\gamma^{0.292}}$$

Donde:

- V: Velocidad de Mínima Resistencia a Fluir, en m/s
- γ : Densidad del Fluido, en Kg_f/m³

Sustituyendo:

$$V = \frac{1}{(-0.001955 + [(0.07516)(1000)^{0.292}]})} \quad (5.9)$$

Resultando en una velocidad media de 1.777 m/s, para la densidad del agua 1,000 Kg_f/m³ a 21°C.

Cálculo de la resistencia al flujo

Para conocer la energía que se aplica al flujo y garantizar su conducción, se requiere aplicar la Ecuación de la Energía, estimando la energía potencial, la energía de trabajo mecánico ejecutado por las fuerzas debidas a la presión, la energía cinética y la pérdida de carga, expresada como sigue:

$$E = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + \Sigma h_{fl} \quad (5.10)$$

Donde:

- E: Energía por Unidad de Peso que tiene el Líquido, en m
- z: Carga de Posición, en m
- p: Presión de Trabajo, en Kg_f/m²
- γ: Densidad del Flujo, en Kg_f/m³
- V: Velocidad Media del Flujo, en m/s
- g: Aceleración Local de la Gravedad, en m/s²
- Σh_{fl}: Pérdida de Energía por Fricción y/o Locales, Establecidas entre Dos Secciones de Control, en m

Estableciendo la Ecuación de la Energía (5.10) entre dos secciones se obtiene:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Sigma h_{f_{1-2}} \quad (5.11)$$

De la ecuación (5.11) se desprende anular la correspondiente carga de velocidad, ya que independientemente de la dirección del flujo, ésta es igual en los dos puntos, resultando entonces:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \Sigma h_{f_{1-2}} \quad (5.12)$$

Desprendiéndose entonces que las condiciones de flujo, consecuentemente dependen de la carga de posición y carga de presión, así como también de las características de la tubería como material y rugosidad que posea, ya que las pérdidas de energía dependen de estas características.

5.4 Ecuaciones para el cálculo de las pérdidas de energía

En el cálculo de las perdidas de energía por fricción se considera la expresión propuesta por Darcy-Weisbach. Establecida en 1850 de forma experimental, se convierte en atractiva y confiable por

tener un carácter adimensional, y haberse comprobado experimentalmente por diversos investigadores como Nikuradse, Colebrook, White y Moody.

La expresión de Darcy-Weisbach es la siguiente:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (5.13)$$

Donde:

- hf: Pérdida por Fricción, en m
- f: Factor de Fricción, adimensional
- L: Longitud de la Tubería, en m
- D: Diámetro Interior, en m
- V: Velocidad Media, en m/s
- g: Aceleración Local de la Gravedad, en m/s²

El factor de fricción es función de la Rugosidad Relativa “ ϵ ” y del Número de Reynolds “ R_e ” en el tubo, esto es:

$$f = f(\epsilon, R_e) \quad (5.14)$$

Para el uso de la fórmula de Darcy-Weisbach la rugosidad absoluta de la tubería se considera de 0.0015 mm.

Si “ S_f ” representa la relación entre la pérdida de energía y la longitud del tubo en que ésta ocurre (pendiente de fricción), la ecuación (5.10) también es:

$$S_f = \frac{h_f}{L} = \frac{f V^2}{D 2g} \quad (5.15)$$

Para evaluar el factor de fricción f se puede hacer uso del Diagrama Universal de Moody o con la expresión propuesta por Colebrook y White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (5.16)$$

Y últimamente la expresión siguiente, debida a Swamme y Jain evita resolver la ecuación (5.16) mediante aproximaciones sucesivas.

$$f = \frac{0.25}{\left(-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{\text{Re}^{0.9}} \right) \right)^2} \quad (5.17)$$

Calculo del transitorio de presión

Un cambio en la velocidad de columna al interior de una tubería se manifiesta como un cambio en la presión interna. Este cambio en la presión u onda de presión, es comúnmente conocido como “Golpe de Ariete”. El Golpe de Ariete es mejor descrito como un transitorio de presión y es un repentino incremento o decremento en la presión debido a cambios en la velocidad del fluido en una tubería.

Esta onda de sobrepresión puede provocar en el retorno de la onda, presiones vacuométricas, que incluso pueden llegar a ser menores que la presión atmosférica, llevando a la tubería al colapso.

La onda de sobrepresión se mueve a través de la columna de agua a velocidades mayores de 1,372 m/s, dependiendo del material de la tubería.

El aumento en la presión debido a un cierre instantáneo de una válvula, depende de las velocidades del fluido y de la onda de presión (celeridad), obtenida mediante la expresión siguiente:

$$P = \rho a v \quad (5.18)$$

Donde:

P: Incremento de Presión, en Pa

- ρ : Densidad Relativa del Agua (1,000.30 Ns²/m⁴)
 a : Celeridad, en m/s
 v : Velocidad del Agua, en m/s

Para tubería de acero, con relación d/t menores a 100 la celeridad se calcula como:

$$a = \frac{1439}{\sqrt{1 + \frac{1}{100} \left(\frac{d}{t} \right)}} \quad (5.19)$$

Donde:

- d : Diámetro Interior, en m
 t : Espesor de Pared, en m

Para asegurar que no se presente un fenómeno transitorio de presión, se debe eliminar las condiciones que lo propician, como lo es el caso del cierre o apertura de válvulas, o paros bruscos de una bomba.

Una manera de garantizar un cierre o apertura segura de válvulas es realizar las maniobras en un tiempo mayor al de desplazamiento de la onda de sobrepresión, éste tiempo se calcula como sigue:

$$T \geq \frac{2 * L}{a} \quad (5.20)$$

Donde:

- T : Tiempo, en s
 L : Longitud de la Tubería, en m
 a : Velocidad de la Onda, en m/s

5.5 Memoria de cálculo del diseño de la línea de conducción

Revisión de la operación actual

El Sistema de Bombeo que actualmente se opera para la línea de 12" de diámetro entre el Rebombeo Aduana y el Tanque – Rebombeo GM-11, es una combinación en paralelo de dos equipos de 150 HP y una de 100 HP.

Esta condición de operación genera un gasto de 100 lps aproximadamente, a razón de una velocidad de 1.368 m/s.

Una segunda condición de operación se da al aplicar tres bombas de 150 HP, lo que proporciona un gasto de 108 lps a razón de 1.487 m/s.

Ambas condiciones de operación se analizan en las tablas 5.1 y 5.2, resaltando la baja eficiencia con que funcionan los equipos, misma que origina que la intersección entre las curvas características de las bombas y la línea de resistencia de la tubería se dé en la zona inferior de la primer curva, ver Fig. 5.1.

Bajo los mismos criterios presentados en las tablas anteriores, se sustituyen las condiciones de la línea de proyecto, tubería de 20" y reducción de la longitud de la línea de conducción, obteniéndose las tablas 5.3 y 5.4, donde se observa que las bombas mejoran notablemente su función, aumentando el valor de la eficiencia, sin alcanzar los valores recomendables de operación para éstos equipos. Se logra además, de mantener los actuales equipos de bombeo, incrementar a más del doble el gasto manteniendo la carga de bombeo.

Se debe revisar por parte del personal de la dependencia la selección de nuevos equipos de bombeo, que ajusten las curvas características con la curva de resistencia de la línea de conducción de este proyecto, y en consecuencia la máxima eficiencia de las bombas coincida con el punto de operación del equipo, reduciendo el consumo de energía eléctrica.

Proyecto de la línea

La tabla 5.5 presenta un resumen de velocidades ocurridas al interior de la tubería considerada en el proyecto, 508 mm (20") de diámetro nominal, bajo los diferentes criterios de selección del diámetro económico, definiéndose como condición de diseño un gasto de 0.241 m³/s.

A manera de conocer la magnitud de las pérdidas de energía generadas por el flujo de gasto a través de la línea de proyecto, en las tablas 5.6 y 5.7 se valúa de manera aproximada la suma de los coeficientes de pérdida local y la pérdida total de energía producto de la fuerza de fricción a lo largo del conducto y efectos locales, resultando respectivamente 15.305 y 2.83 m para el gasto definido como de diseño, lo que se considera como aceptable.

Bajo este panorama y considerando un horizonte de proyecto igual a 10 años, el caudal de diseño es suficiente para abastecer a una población de 73,629 personas con dotación de agua potable de 202 l/hab./día y Coeficiente de Variación Diaria de 1.4.

Conocido el caudal de operación de la tubería, resta determinar la presión de trabajo al interior de la conducción, la cuál establecerá la carga de operación de los equipos de bombeo y el espesor de la tubería.

Las características geométricas de la tubería de acero seleccionada se presentan en la tabla 5.8, las cuales se listan en función de su cédula, resaltando los valores para el tipo 40, cuyo espesor es de 15.1 mm.

En la tabla 5.9 se presentan las velocidades resultantes para el gasto de diseño y el diámetro interior de la tubería de 20" según la cédula correspondiente, destacando la velocidad de 1.346 m/s asociada al valor de diseño.

Esta velocidad se acepto como buena debido a que se aproxima al valor calculado de 1.368 m/s con que opera actualmente la línea.

Aplicando la Ecuación de Darcy-Weisbach (5.13) se construye la tabla 5.10, que indica la pérdida de energía total ocurrida en la conducción, considerando las pérdidas por fricción de la tubería y

locales por accesorios (tabla 5.6). De acuerdo con el caudal seleccionado, las pérdidas de carga resultan en 3.755 mca. La carga de bombeo para el punto de operación resulta de 68.181 mca.

Para determinar la resistencia de la tubería bajo la presión de las condiciones de operación y de golpe de ariete, se construyó la tabla 5.11, que resuelve las ecuaciones correspondientes en función de la cédula de la tubería, destacando el resultado obtenido para el caso de la cédula 40, donde la resistencia al colapso es muy superior al esfuerzo actuante.

No obstante el resultado anterior, se han propuesto siete válvulas de admisión y expulsión de aire a lo largo del desarrollo de la conducción, cuya función es mitigar la formación de vacío al interior de la tubería.

5.6 Fórmulas utilizadas para la realización de las tablas de cálculos en el “Proyecto Ejecutivo de la Sustitución de Tubería de Agua Potable”.

Para la línea de conducción de 20” de diámetro

Para el cálculo de la pérdida unitaria:

$$h_{fu} = \frac{h_f + h_l}{L} \quad (5.21)$$

Donde:

h_{fu} es la pérdida unitaria

h_f es la pérdida final

L es la longitud de la línea

h_l es la pérdida inicial

Para el cálculo del diámetro exterior:

$$D = \frac{\text{DiametroNom.}}{1000} \quad (5.22)$$

Donde:

D es el diámetro exterior

DiametroNom es el diámetro nominal

Para el cálculo de la carga estática total:

$$H = Z_f + dH - Z_i \quad (5.23)$$

Donde:

H es la carga estática total

Z_i es la elevación inicial

Z_f es la elevación final

dH es la carga de entrada al tanque

Para el cálculo de la carga al inicio:

$$HB = H + h_f + h_l \quad (5.24)$$

Donde:

HB es la carga al inicio

h_f es la pérdida final
 h_i es la pérdida inicial

Para el valor de la piezométrica:

$$\text{Piezométrica} = V \cdot \text{Plantilla} + \frac{D}{2} + H \quad (5.25)$$

Donde:

Piezométrica es el valor de la Piezométrica
V.Plantilla es el valor de la plantilla (calculado)
D es el Diámetro exterior
H(B) es la carga al inicio

Para el valor de la carga disponible:

$$\text{Carga Disponible} = \text{Plantilla} - \left(\text{Plantilla} + \frac{D}{2} \right) \quad (5.26)$$

Donde:

D es el Diámetro exterior

Tablas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4

Es la revisión del funcionamiento actual de la línea de conducción y la revisión del funcionamiento de la línea de conducción de 20", considerando la operación de 2 equipos de Bombeo, 2 de 150 hp y 1 de 100 hp y 3 bombas de 150 hp respectivamente.

TABLA 5.1
REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN,
CONSIDERANDO LA OPERACIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO: 2 DE 150 HP Y 1 DE 100 HP

L = 760.00 m	Longitud de la Red Existente	
D ₁₂ = 0.3048 m	Diámetro de la Línea Existente (12")	A = 0.0730 m ²
Eps = 0.00007 m	Rugosidad Relativa de la Tubería Existente (Acero)	
z ₁ = 2,304.928 msnm	Elevación a la Entrada del Tanque - Rebombear GM-11	
z ₀ = 2,246.642 msnm	Nivel del Agua en el Cárcamo del Rebombear Aduana	
H = 58.286 m	Carga Estática	
K = 15.535	Suma de Coeficientes de Pérdida Local	
nu = 0.000001 m ² /s	Viscosidad Cinemática del Agua	

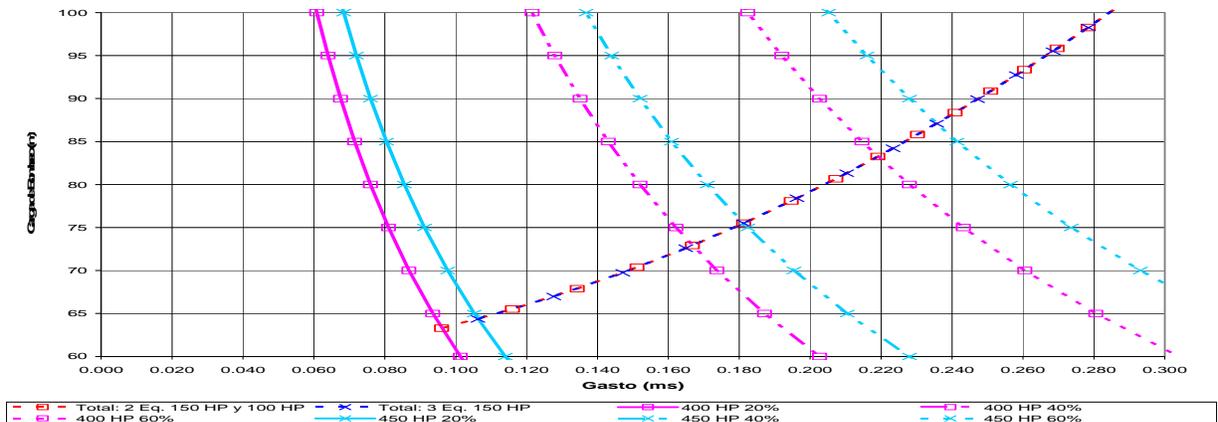
Q (m ³ /s)	HB (m)	V (m/s)	hV ₁ (m)	f (-)	Re (-)	Potencia (HP)	150	150	100	Q (m ³ /s)	EQ (-)
						Eficiencia (%)	Q1	Q2	Q3		
0.096	63.289	1.317	0.088	0.016081	401,299	20.00%	0.036	0.036	0.024	0.096	0
0.116	65.502	1.590	0.129	0.015822	484,682	25.00%	0.044	0.044	0.029	0.116	0
0.134	67.883	1.841	0.173	0.015642	561,218	30.00%	0.050	0.050	0.034	0.134	0
0.151	70.369	2.072	0.219	0.015509	631,620	35.00%	0.057	0.057	0.038	0.151	0
0.167	72.916	2.286	0.266	0.015407	696,633	40.00%	0.063	0.063	0.042	0.167	0
0.181	75.495	2.483	0.314	0.015325	756,940	45.00%	0.068	0.068	0.045	0.181	0
0.195	78.086	2.668	0.363	0.015259	813,145	50.00%	0.073	0.073	0.049	0.195	0
0.207	80.674	2.840	0.411	0.015203	865,761	55.00%	0.078	0.078	0.052	0.207	0
0.219	83.251	3.003	0.460	0.015156	915,227	60.00%	0.082	0.082	0.055	0.219	0
0.230	85.812	3.156	0.508	0.015116	961,912	65.00%	0.086	0.086	0.058	0.230	0
0.241	88.351	3.301	0.555	0.015080	1,006,128	70.00%	0.090	0.090	0.060	0.241	0
0.251	90.868	3.439	0.603	0.015049	1,048,142	75.00%	0.094	0.094	0.063	0.251	0
0.260	93.359	3.570	0.650	0.015021	1,088,180	80.00%	0.098	0.098	0.065	0.260	0
0.270	95.825	3.696	0.696	0.014996	1,126,437	85.00%	0.101	0.101	0.067	0.270	0
0.278	98.266	3.816	0.742	0.014973	1,163,079	90.00%	0.104	0.104	0.070	0.278	0
0.287	100.680	3.931	0.788	0.014953	1,198,253	95.00%	0.108	0.108	0.072	0.287	0
0.295	103.069	4.042	0.833	0.014934	1,232,086	100.00%	0.111	0.111	0.074	0.295	0

TABLA 5.2
REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN,
CONSIDERANDO LA OPERACIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO: 3 DE 150 HP

L = 760.00 m	Longitud de la Red Existente	
D ₁₂ = 0.3048 m	Diámetro de la Línea Existente (12")	A = 0.0730 m ²
Eps = 0.00007 m	Rugosidad Relativa de la Tubería Existente (Acero)	
z ₁ = 2,304.928 msnm	Elevación a la Entrada del Tanque - Rebombeo GM-11	
z ₀ = 2,246.642 msnm	Nivel del Agua en el Cárcamo del Rebombeo Aduana	
H = 58.286 m	Carga Estática	
K = 15.535	Suma de Coeficientes de Perdida Local	
nu = 0.000001 m ² /s	Viscosidad Cinemática del Agua	

Q (m ³ /s)	HB (m)	V (m/s)	hV ₁ (m)	f (-)	Re (-)	Potencia (HP)			Q (m ³ /s)	EQ (-)	
						150	150	150			
						Eficiencia (%)	Q1	Q2	Q3		
0.106	64.369	1.456	0.108	0.015939	443,886	20.00%	0.035	0.035	0.035	0.106	0
0.128	66.974	1.750	0.156	0.015703	533,276	25.00%	0.043	0.043	0.043	0.128	0
0.147	69.740	2.016	0.207	0.015539	614,553	30.00%	0.049	0.049	0.049	0.147	0
0.165	72.596	2.260	0.260	0.015418	688,777	35.00%	0.055	0.055	0.055	0.165	0
0.181	75.495	2.483	0.314	0.015325	756,940	40.00%	0.060	0.060	0.060	0.181	0
0.196	78.409	2.690	0.369	0.015251	819,908	45.00%	0.065	0.065	0.065	0.196	0
0.210	81.320	2.882	0.423	0.015191	878,408	50.00%	0.070	0.070	0.070	0.210	0
0.223	84.214	3.061	0.478	0.015140	933,042	55.00%	0.074	0.074	0.074	0.223	0
0.236	87.084	3.229	0.532	0.015097	984,311	60.00%	0.079	0.079	0.079	0.236	0
0.247	89.927	3.388	0.585	0.015060	1,032,630	65.00%	0.082	0.082	0.082	0.247	0
0.258	92.739	3.538	0.638	0.015028	1,078,345	70.00%	0.086	0.086	0.086	0.258	0
0.269	95.519	3.680	0.690	0.014999	1,121,746	75.00%	0.090	0.090	0.090	0.269	0
0.278	98.266	3.816	0.742	0.014973	1,163,079	80.00%	0.093	0.093	0.093	0.278	0
0.288	100.980	3.945	0.793	0.014950	1,202,553	85.00%	0.096	0.096	0.096	0.288	0
0.297	103.662	4.069	0.844	0.014930	1,240,348	90.00%	0.099	0.099	0.099	0.297	0
0.306	106.312	4.188	0.894	0.014911	1,276,617	95.00%	0.102	0.102	0.102	0.306	0
0.314	108.932	4.303	0.944	0.014893	1,311,495	100.00%	0.105	0.105	0.105	0.314	0

Fig. 5.1 Q vs H para Condición Actual



Potencia Eficiencia HB (m)	100			150		
	20%	40%	60%	20%	40%	60%
	Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)
50.000	0.030	0.061	0.091	0.046	0.091	0.137
55.000	0.028	0.055	0.083	0.041	0.083	0.124
60.000	0.025	0.051	0.076	0.038	0.076	0.114
65.000	0.023	0.047	0.070	0.035	0.070	0.105
70.000	0.022	0.043	0.065	0.033	0.065	0.098
75.000	0.020	0.041	0.061	0.030	0.061	0.091
80.000	0.019	0.038	0.057	0.029	0.057	0.086
85.000	0.018	0.036	0.054	0.027	0.054	0.080
90.000	0.017	0.034	0.051	0.025	0.051	0.076
95.000	0.016	0.032	0.048	0.024	0.048	0.072
100.000	0.015	0.030	0.046	0.023	0.046	0.068
105.000	0.014	0.029	0.043	0.022	0.043	0.065
110.000	0.014	0.028	0.041	0.021	0.041	0.062
115.000	0.013	0.026	0.040	0.020	0.040	0.059
120.000	0.013	0.025	0.038	0.019	0.038	0.057
125.000	0.012	0.024	0.036	0.018	0.036	0.055
130.000	0.012	0.023	0.035	0.018	0.035	0.053
135.000	0.011	0.023	0.034	0.017	0.034	0.051
140.000	0.011	0.022	0.033	0.016	0.033	0.049
145.000	0.010	0.021	0.031	0.016	0.031	0.047
150.000	0.010	0.020	0.030	0.015	0.030	0.046
155.000	0.010	0.020	0.029	0.015	0.029	0.044
160.000	0.010	0.019	0.029	0.014	0.029	0.043
165.000	0.009	0.018	0.028	0.014	0.028	0.041
170.000	0.009	0.018	0.027	0.013	0.027	0.040

1 100 HP y 2 150 HP			3 150 HP		
20%	40%	60%	20%	40%	60%
Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)	Q (m³/s)
0.122	0.243	0.365	0.137	0.274	0.410
0.111	0.221	0.332	0.124	0.249	0.373
0.101	0.203	0.304	0.114	0.228	0.342
0.094	0.187	0.281	0.105	0.210	0.316
0.087	0.174	0.261	0.098	0.195	0.293
0.081	0.162	0.243	0.091	0.182	0.274
0.076	0.152	0.228	0.086	0.171	0.257
0.072	0.143	0.215	0.080	0.161	0.241
0.068	0.135	0.203	0.076	0.152	0.228
0.064	0.128	0.192	0.072	0.144	0.216
0.061	0.122	0.182	0.068	0.137	0.205
0.058	0.116	0.174	0.065	0.130	0.195
0.055	0.111	0.166	0.062	0.124	0.187
0.053	0.106	0.159	0.059	0.119	0.178
0.051	0.101	0.152	0.057	0.114	0.171
0.049	0.097	0.146	0.055	0.109	0.164
0.047	0.094	0.140	0.053	0.105	0.158
0.045	0.090	0.135	0.051	0.101	0.152
0.043	0.087	0.130	0.049	0.098	0.147
0.042	0.084	0.126	0.047	0.094	0.142
0.041	0.081	0.122	0.046	0.091	0.137
0.039	0.078	0.118	0.044	0.088	0.132
0.038	0.076	0.114	0.043	0.086	0.128
0.037	0.074	0.111	0.041	0.083	0.124
0.036	0.072	0.107	0.040	0.080	0.121

TABLA 5.3
REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE PROYECTO,
CONSIDERANDO LA OPERACIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO: 2 DE 150 HP Y 1 DE 100 HP

L = 828.288 m	Longitud de la Red Existente	
D ₂₀ = 0.5080 m	Diámetro de la Línea de Proyecto (20")	A = 0.2027 m ²
Eps = 0.00007 m	Rugosidad Relativa de la Tubería Existente (Acero)	
z ₁ = 2,304.928 msnm	Elevación a la Entrada del Tanque - Rebombeo GM-11	
z ₀ = 2,246.642 msnm	Nivel del Agua en el Cárcamo del Rebombeo Aduana	
dH _s = 5.000 m	Carga Mínima a la Entrada del Tanque - Rebombeo GM-11	
H = 63.286 m	Carga Estática	
K = 15.305	Suma de Coeficientes de Perdida Local	
nu = 0.000001 m ² /s	Viscosidad Cinemática del Agua	

Q (m³/s)	HB (m)
0.095	63.769
0.119	64.022
0.142	64.321
0.165	64.666
0.187	65.052
0.209	65.478
0.231	65.939
0.252	66.433
0.272	66.958
0.293	67.510
0.313	68.086
0.332	68.686
0.351	69.305
0.369	69.943
0.388	70.596
0.405	71.264
0.423	71.945

V (m/s)
0.470
0.586
0.700
0.812
0.922
1.031
1.137
1.242
1.344
1.444
1.542
1.638
1.731
1.823
1.912
1.999
2.085

hV ₁ (m)	f (-)	Re (-)
0.011	0.016266	238,968
0.017	0.015801	297,532
0.025	0.015460	355,374
0.034	0.015199	412,393
0.043	0.014990	468,507
0.054	0.014821	523,647
0.066	0.014680	577,761
0.079	0.014560	630,809
0.092	0.014458	682,765
0.106	0.014370	733,615
0.121	0.014292	783,354
0.137	0.014224	831,985
0.153	0.014163	879,518
0.169	0.014108	925,970
0.186	0.014060	971,360
0.204	0.014015	1,015,712
0.222	0.013975	1,059,052

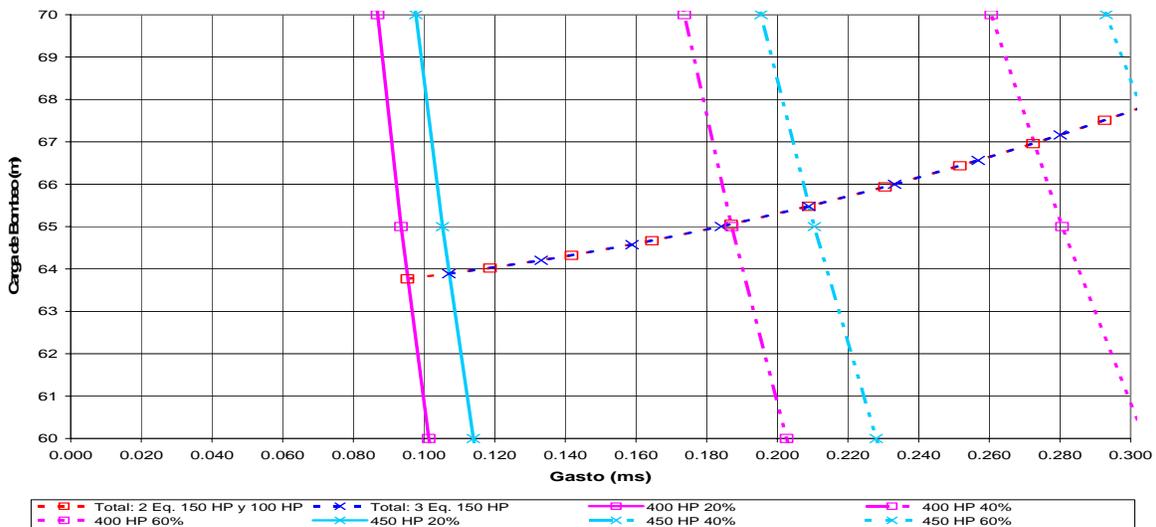
Potencia (HP)	150	150	100	Q	EQ
Eficiencia (%)	Q1	Q2	Q3	(m³/s)	(-)
20.00%	0.036	0.036	0.024	0.095	0
25.00%	0.045	0.045	0.030	0.119	0
30.00%	0.053	0.053	0.035	0.142	0
35.00%	0.062	0.062	0.041	0.165	0
40.00%	0.070	0.070	0.047	0.187	0
45.00%	0.078	0.078	0.052	0.209	0
50.00%	0.086	0.086	0.058	0.231	0
55.00%	0.094	0.094	0.063	0.252	0
60.00%	0.102	0.102	0.068	0.272	0
65.00%	0.110	0.110	0.073	0.293	0
70.00%	0.117	0.117	0.078	0.313	0
75.00%	0.124	0.124	0.083	0.332	0
80.00%	0.132	0.132	0.088	0.351	0
85.00%	0.139	0.139	0.092	0.369	0
90.00%	0.145	0.145	0.097	0.388	0
95.00%	0.152	0.152	0.101	0.405	0
100.00%	0.158	0.158	0.106	0.423	0

TABLA 5.4
REVISIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN DE PROYECTO,
CONSIDERANDO LA OPERACIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO: 3 DE 150 HP

L = 828.288 m	Longitud de la Red Existente	A = 0.2027 m ²
D ₂₀ = 0.5080 m	Diámetro de la Línea de Proyecto (20")	
Eps = 0.00007 m	Rugosidad Relativa de la Tubería Existente (Acero)	
z ₁ = 2,304.928 msnm	Elevación a la Entrada del Tanque - Rebombeo GM-11	
z ₀ = 2,246.642 msnm	Nivel del Agua en el Cárcomo del Rebombeo Aduana	
dH _s = 5.000 m	Carga Mínima a la Entrada del Tanque - Rebombeo GM-11	
H = 63.286 m	Carga Estática	
K = 15.305	Suma de Coeficientes de Perdida Local	
nu = 0.000001 m ² /s	Viscosidad Cinemática del Agua	

Q (m ³ /s)	HB (m)	V (m/s)	hV ₁ (m)	f (-)	Re (-)	Potencia (HP)			Q (m ³ /s)	EQ (-)	
						150	150	150			
						Eficiencia (%)	Q1	Q2	Q3		
0.107	63.889	0.528	0.014	0.016014	268,334	20.00%	0.036	0.036	0.036	0.107	0
0.133	64.204	0.657	0.022	0.015577	333,775	25.00%	0.044	0.044	0.044	0.133	0
0.159	64.576	0.784	0.031	0.015258	398,220	30.00%	0.053	0.053	0.053	0.159	0
0.184	65.002	0.909	0.042	0.015014	461,545	35.00%	0.061	0.061	0.061	0.184	0
0.209	65.478	1.031	0.054	0.014821	523,647	40.00%	0.070	0.070	0.070	0.209	0
0.233	65.999	1.150	0.067	0.014664	584,451	45.00%	0.078	0.078	0.078	0.233	0
0.257	66.562	1.268	0.082	0.014533	643,901	50.00%	0.086	0.086	0.086	0.257	0
0.280	67.162	1.382	0.097	0.014423	701,964	55.00%	0.093	0.093	0.093	0.280	0
0.303	67.795	1.493	0.114	0.014330	758,623	60.00%	0.101	0.101	0.101	0.303	0
0.325	68.458	1.602	0.131	0.014248	813,878	65.00%	0.108	0.108	0.108	0.325	0
0.346	69.148	1.708	0.149	0.014177	867,737	70.00%	0.115	0.115	0.115	0.346	0
0.367	69.862	1.811	0.167	0.014115	920,222	75.00%	0.122	0.122	0.122	0.367	0
0.388	70.596	1.912	0.186	0.014060	971,360	80.00%	0.129	0.129	0.129	0.388	0
0.407	71.349	2.010	0.206	0.014010	1,021,184	85.00%	0.136	0.136	0.136	0.407	0
0.427	72.117	2.106	0.226	0.013965	1,069,733	90.00%	0.142	0.142	0.142	0.427	0
0.446	72.900	2.199	0.246	0.013925	1,117,045	95.00%	0.149	0.149	0.149	0.446	0
0.464	73.694	2.290	0.267	0.013888	1,163,164	100.00%	0.155	0.155	0.155	0.464	0

Fig. 5.2 Q vs H para Condición de Proyecto



Potencia	100			150			1 100 HP y 2 150 HP			3 150 HP		
Eficiencia	20%	40%	60%	20%	40%	60%	20%	40%	60%	20%	40%	60%
HB (m)	Q (m ³ /s)											
50.000	0.030	0.061	0.091	0.046	0.091	0.137	0.122	0.243	0.365	0.137	0.274	0.410
55.000	0.028	0.055	0.083	0.041	0.083	0.124	0.111	0.221	0.332	0.124	0.249	0.373
60.000	0.025	0.051	0.076	0.038	0.076	0.114	0.101	0.203	0.304	0.114	0.228	0.342
65.000	0.023	0.047	0.070	0.035	0.070	0.105	0.094	0.187	0.281	0.105	0.210	0.316
70.000	0.022	0.043	0.065	0.033	0.065	0.098	0.087	0.174	0.261	0.098	0.195	0.293
75.000	0.020	0.041	0.061	0.030	0.061	0.091	0.081	0.162	0.243	0.091	0.182	0.274
80.000	0.019	0.038	0.057	0.029	0.057	0.086	0.076	0.152	0.228	0.086	0.171	0.257
85.000	0.018	0.036	0.054	0.027	0.054	0.080	0.072	0.143	0.215	0.080	0.161	0.241
90.000	0.017	0.034	0.051	0.025	0.051	0.076	0.068	0.135	0.203	0.076	0.152	0.228
95.000	0.016	0.032	0.048	0.024	0.048	0.072	0.064	0.128	0.192	0.072	0.144	0.216
100.000	0.015	0.030	0.046	0.023	0.046	0.068	0.061	0.122	0.182	0.068	0.137	0.205
105.000	0.014	0.029	0.043	0.022	0.043	0.065	0.058	0.116	0.174	0.065	0.130	0.195
110.000	0.014	0.028	0.041	0.021	0.041	0.062	0.055	0.111	0.166	0.062	0.124	0.187
115.000	0.013	0.026	0.040	0.020	0.040	0.059	0.053	0.106	0.159	0.059	0.119	0.178
120.000	0.013	0.025	0.038	0.019	0.038	0.057	0.051	0.101	0.152	0.057	0.114	0.171
125.000	0.012	0.024	0.036	0.018	0.036	0.055	0.049	0.097	0.146	0.055	0.109	0.164
130.000	0.012	0.023	0.035	0.018	0.035	0.053	0.047	0.094	0.140	0.053	0.105	0.158
135.000	0.011	0.023	0.034	0.017	0.034	0.051	0.045	0.090	0.135	0.051	0.101	0.152
140.000	0.011	0.022	0.033	0.016	0.033	0.049	0.043	0.087	0.130	0.049	0.098	0.147
145.000	0.010	0.021	0.031	0.016	0.031	0.047	0.042	0.084	0.126	0.047	0.094	0.142
150.000	0.010	0.020	0.030	0.015	0.030	0.046	0.041	0.081	0.122	0.046	0.091	0.137
155.000	0.010	0.020	0.029	0.015	0.029	0.044	0.039	0.078	0.118	0.044	0.088	0.132
160.000	0.010	0.019	0.029	0.014	0.029	0.043	0.038	0.076	0.114	0.043	0.086	0.128
165.000	0.009	0.018	0.028	0.014	0.028	0.041	0.037	0.074	0.111	0.041	0.083	0.124
170.000	0.009	0.018	0.027	0.013	0.027	0.040	0.036	0.072	0.107	0.040	0.080	0.121

Tabla 5.5

Para la Tabla 5.5 que es el resumen de velocidades resultantes de la aplicación de diferentes criterios de selección de diámetro económico tenemos los siguientes criterios de Máxima de Norma, de Bundschu, de Marquardt, de Bresse, de Capps y de Mínima de Norma.

Criterio para máxima de norma:

Velocidad por especificación es igual a 5

Velocidad para los diferentes criterios

$$V = \left(\frac{Q}{\pi} \right) * D^{(2/4)} \quad (5.27)$$

Gasto

$$Q = Vel. * \pi * D^{(2/4)} \quad (5.28)$$

Criterio para Marquardt (para 12 horas):

Gasto

$$Q = \left(\frac{D}{\left(\frac{12}{24} \right)^{(1/4)} * 1.2} \right)^2 \quad (5.29)$$

Criterio para Marquardt (para 13 horas):

Gasto

$$Q = \left(\frac{D}{\left(\frac{13}{24} \right)^{(1/4)} * 1.2} \right)^2 \quad (5.30)$$

Criterio para Bresse:

Gasto

$$Q = \left(\frac{D}{1.2} \right)^2 \quad (5.31)$$

Criterio para Capps:

Gasto

$$Q = 1.777 * \pi * D^{(2/4)} \quad (5.32)$$

Criterio para mínima de norma:

Gasto

$$Q = 0.600 * \pi * D^{(2/4)} \quad (5.33)$$

TABLA 5.5
RESUMEN DE VELOCIDADES RESULTANTES DE LA
APLICACIÓN DE DIFERENTES CRITERIOS DE
SELECCIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO

D = 0.5080 m

Criterio	Velocidad (m/s)	Gasto (m ³ /s)
Máxima de Norma	5.000	1.013
Bundschu	2.722	0.552
Marquardt (12 horas de Bombeo)	1.250	0.253
Marquardt (13 horas de Bombeo)	1.201	0.243
Bresse	0.884	0.179
Capps	1.777	0.360
Mínima de Norma	0.600	0.122
Diseño	1.191	0.241

Tabla 5.6

Para la tabla 5.6 que es la determinación del coeficiente K para el cálculo de pérdidas locales se utilizan los ángulos de los diferentes codos utilizados en la línea de conducción así como de las piezas especiales.

El cálculo del coeficiente K se hace multiplicando el numero de piezas que se tengan y de acuerdo al diámetro nominal se tiene un valor K (pérdidas) para obtener nK (Pérdidas locales)

$$nK = No.pzas * K$$

TABLA 5.6				
DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE K PARA EL CÁLCULO DE PERDIDAS LOCALES				

Ángulo		Pérdidas Locales		
Grados	Radianes	Número	K	nK
90.000	1.571	4	1.129	4.516
60.000	1.047	1	0.471	0.471
54.230	0.946	1	0.471	0.471
46.617	0.814	1	0.471	0.471
45.000	0.785	36	0.236	8.496
29.470	0.514	1	0.130	0.130
22.500	0.393	4	0.066	0.264
15.000	0.262	1	0.042	0.042
11.250	0.196	6	0.042	0.252
10.970	0.191	1	0.042	0.042
9.922	0.173	1	0.034	0.034
6.271	0.109	1	0.034	0.034
5.620	0.098	1	0.034	0.034
2.883	0.050	1	0.016	0.016
2.508	0.044	1	0.016	0.016
1.980	0.035	1	0.016	0.016
Total:		62	15.305	

Tabla 5.7

Para la tabla 5.7 que es la determinación de pérdidas de energía por fricción evaluadas con la ecuación de Darcy-Weisbach (5.13) y locales, utilizando la velocidad de los criterios de selección del diámetro económico.

Rugosidad Relativa:

$$e = \left(\frac{0.04 + 0.1}{2} \right) \quad (5.34)$$

Numero de Reynolds:

$$Re = \frac{\left(\frac{V(\text{criterios}) * D}{1000} \right)}{0.000001} \quad (5.35)$$

Para el cálculo de hf (unitaria)

$$hf_{unitaria} = \frac{(f * 1 * v^2)}{\left(\frac{D}{1000} \right) + 2 + 9.81} \quad (5.36)$$

Para el cálculo de hf

$$hf = hf_{unitaria} * L \quad (5.37)$$

Para el cálculo de hl

$$hl = K * \left(\frac{v^2}{2 * 9.81} \right) \quad (5.38)$$

Para el cálculo de hT

$$hT = hf + hl \quad (5.39)$$

TABLA 5.7
PERDIDAS DE ENERGÍA POR FRICCIÓN EVALUADAS CON LA ECUACIÓN DE DARCY-WEISBACH Y LOCALES, UTILIZANDO LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL DIÁMETRO ECONÓMICO

Rugosidad Relativa:	e =	0.070	mm
Diámetro:	D =	508	mm
Longitud Total:	L =	828.288	m
Suma de Coeficientes de Prdida Local:	K =	15.305	

Criterio	Velocidad (m/s)	Reynolds	f	hf Unitaria (mca)	hf (mca)	hl (mca)	hT (mca)
Máxima de Norma	5.000	2,540,000	0.0134	0.0335	27.74	19.50	47.25
Bundschu	2.722	1,382,776	0.0137	0.0102	8.46	5.78	14.24
Marquardt (12 horas de Bombeo)	1.250	635,000	0.0146	0.0023	1.89	1.22	3.11
Marquardt (13 horas de Bombeo)	1.201	610,108	0.0146	0.0021	1.75	1.13	2.88
Bresse	0.884	449,072	0.0151	0.0012	0.98	0.61	1.59
Capps	1.777	902,716	0.0141	0.0045	3.71	2.46	6.17
Mínima de Norma	0.600	304,800	0.0158	0.0006	0.47	0.28	0.75
Diseño	1.191	605,028	0.0146	0.0021	1.72	1.11	2.83

Tabla 5.8

En la tabla 5.8 se observan las características geométricas de la tubería de acero Norma ANSI B.36.10: 1970

TABLA 5.8
CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA TUBERÍA DE ACERO NORMA ANSI B.36.10 : 1970

Diámetro Nominal		Cédula	Espesor Mínimo	
(plg)	(mm)		(plg)	(mm)
20	508	10	1/4	6.4
		20	3/8	9.5
		30	1/2	12.7
		40	41/69	15.1
		60	69/85	20.6
		80	1 1/32	26.2
		100	1 9/32	32.5
		120	1 1/2	38.1
		140	1 3/4	44.5
160	1 31/32	50.0		

Tabla 5.9

En la Tabla 5.9 se presentan las velocidades resultantes para un gasto de 241 lps., en una tubería de acero de 20" de diámetro nominal.

TABLA 5.9			
VELOCIDADES RESULTANTES PARA UN GASTO DE 241 LPS, EN TUBERÍA DE ACERO DE 20" DE DIÁMETRO NOMINAL			
Gasto Diseño		Q =	0.241 m³/s
Cédula	Espesor Mínimo e (m)	Diámetro Interior (m)	Velocidad (m/s)
10	0.0064	0.4953	1.253
20	0.0095	0.4890	1.285
30	0.0127	0.4826	1.319
40	0.0151	0.4778	1.346
60	0.0206	0.4668	1.410
80	0.0262	0.4556	1.480
100	0.0325	0.4429	1.566
120	0.0381	0.4318	1.648
140	0.0445	0.4191	1.749
160	0.0500	0.4080	1.846

Tabla 5.10

Para el cálculo de la tabla 5.10 que es el cálculo de los valores de presión al inicio de la línea de conducción, en función de la velocidad del flujo y el espesor de la tubería son similares a los encontrados para el cálculo de la línea de conducción de 20".

TABLA 5.10						
VALORES DE PRESIÓN AL INICIO DE LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN, EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL FLUJO Y EL ESPESOR DE LA TUBERÍA						
Rugosidad Relativa:		e =	0.070	mm		
Longitud de la Tubería:		L =	828.288	m		
Elevación Inicial:		Zi =	2,244.852	msnm		
Elevación Final:		Zf =	2,304.278	msnm		
Carga a la Entrada del Tanque:		dH =	5.000	m		
Carga Estática Total:		H =	64.426	mca		
Coeficiente de Perdida Local:		K =	15.305			
Cédula	e (m)	Reynolds	f	hf (mca)	hl (mca)	HB (mca)
10	0.0064	620,398	0.0146	1.955	1.224	67.605
20	0.0095	628,442	0.0146	2.086	1.289	67.801
30	0.0127	636,724	0.0146	2.228	1.358	68.012
40	0.0151	643,094	0.0146	2.342	1.413	68.181
60	0.0206	658,332	0.0146	2.635	1.552	68.613
80	0.0262	674,428	0.0147	2.975	1.709	69.111
100	0.0325	693,767	0.0147	3.431	1.914	69.771
120	0.0381	711,633	0.0147	3.900	2.119	70.445
140	0.0445	733,198	0.0147	4.534	2.387	71.348
160	0.0500	753,182	0.0147	5.194	2.659	72.279

Tabla 5.11

Para la determinación del espesor de la tubería considerando un fenómeno transitorio de presión. Tendremos que considerar dos módulos de elasticidad E_m , E_o y S

Donde:

E_m = del material de la tubería

E_o = del Fluido

S = Esfuerzo Máximo permisible para la tubería

Para cálculo de $e(m)$

$$e(m) = \frac{esp.min.}{1000} \quad (5.40)$$

Para cálculo de d/e

$$d/e = \frac{diam.int.}{e(m)} \quad (5.41)$$

Para cálculo de $P_{50\%}$

$$P_{50\%} = \left(\frac{2 * (S * 0.5) * e(m)}{diam.int.} \right) * 10 \quad (5.42)$$

Para cálculo de $P_{75\%}$

$$P_{50\%} = \left(\frac{2 * (S * 0.75) * e(m)}{diam.int.} \right) * 10 \quad (5.43)$$

Para cálculo de dP

$$dP = \frac{145 * v}{\sqrt{\left(\frac{1 + E_o + diam.int.}{E_m * e(m)} \right)}} \quad (5.44)$$

Para cálculo de $P_{máx}$

$$P_{\text{máx}} = HB + dP \quad (5.45)$$

Para el cálculo de $P_{\text{mín}}$

$$P_{\text{máx}} = HB - dP \quad (5.46)$$

Para el cálculo de P_{colapso}

$$P_{\text{colapso}} = 10 * \left(\frac{2 * Em}{9.81} \right) * \left(\frac{e(m)}{v} \right)^3 \quad (5.47)$$

**TABLA 5.11
 DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA TUBERÍA CONSIDERANDO UN FENÓMENO
 TRANSITORIO DE PRESIÓN**

Módulos de Elasticidad			
del Material de la Tubería:	Em =	2,100,000.00	Kgf/cm ²
Volumétrico del Fluido:	Eo =	20,670.00	Kgf/cm ²
Esfuerzo Máximo Permisible para la Tubería:	S =	2,457.52	Kgf/cm ²

Cédula	e (m)	d/e	P _{50%} (mca)	P _{75%} (mca)	dP (mca)	P _{máx} (mca)	P _{mín} (mca)	P _{Colapso} (mca)
10	0.0064	78	315.067	472.600	136.603	204.208	-68.998	97.3
20	0.0095	51	478.477	717.715	151.885	219.685	-84.084	340.6
30	0.0127	38	646.716	970.074	163.205	231.217	-95.193	841.1
40	0.0151	32	776.108	1164.162	170.398	238.580	-102.217	1453.7
60	0.0206	23	1085.656	1628.483	184.944	253.557	-116.332	3979.2
80	0.0262	17	1412.634	2118.952	198.326	267.436	-129.215	8766.1
100	0.0325	14	1805.466	2708.199	213.282	283.053	-143.511	18301.4
120	0.0381	11	2168.400	3252.600	226.661	297.106	-156.216	31705.5
140	0.0445	9	2606.461	3909.691	242.661	314.009	-171.313	55064.3
160	0.0500	8	3012.417	4518.625	257.547	329.826	-185.269	85008.4

Tabla para determinar la carga disponible en la línea de conducción de 20" de diámetro.

Línea de Conducción de 20" de Diámetro

Perdida Unitaria	hf _u =	0.0045	m
Longitud de la Línea	L =	828.288	m
Diámetro Exterior	D =	0.5080	m
Carga al Inicio	H =	68.181	m

CADENAMIENTO	TERRENO	PLANTILLA	PIEZOMETRICA	CARGA DISPONIBLE
-0+163.793	2,246.101	2,244.596	2,313.031	68.181
-0+156.283	2,246.009	2,244.596	2,312.997	68.147
-0+150.483	2,246.000	2,244.596	2,312.971	68.121
-0+125.403	2,246.221	2,244.596	2,312.857	68.007
-0+114.937	2,246.038	2,244.596	2,312.810	67.960
-0+102.643	2,245.823	2,244.390	2,312.754	68.110
-0+100.643	2,245.802	2,244.358	2,312.745	68.133
-0+056.073	2,241.600	2,242.250	2,312.543	70.039
-0+051.413	2,241.940	2,242.250	2,312.522	70.018
-0+045.753	2,242.250	2,242.250	2,312.496	69.992
-0+023.183	2,245.350	2,243.892	2,312.394	68.248
0+032.637	2,246.000	2,244.292	2,312.141	67.595
0+041.570	2,246.263	2,244.356	2,312.100	67.490
0+045.937	2,246.605	2,245.224	2,312.080	66.602
0+100.000	2,246.565	2,245.111	2,311.835	66.470
0+120.000	2,246.505	2,245.070	2,311.745	66.421
0+140.000	2,246.443	2,245.028	2,311.654	66.372
0+144.227	2,246.431	2,245.019	2,311.635	66.362
0+160.000	2,245.860	2,243.970	2,311.563	67.339
0+167.542	2,245.716	2,243.970	2,311.529	67.305
0+172.156	2,245.583	2,242.922	2,311.508	68.332
0+175.872	2,245.484	2,243.972	2,311.491	67.265
0+180.000	2,245.479	2,243.990	2,311.473	67.229
0+200.000	2,245.615	2,244.077	2,311.382	67.051
0+218.606	2,245.800	2,244.158	2,311.298	66.886
0+220.000	2,245.801	2,244.165	2,311.291	66.872
0+238.023	2,245.794	2,244.237	2,311.209	66.718
0+239.005	2,245.793	2,244.932	2,311.205	66.019
0+242.025	2,245.749	2,244.932	2,311.191	66.005
0+247.961	2,245.662	2,244.420	2,311.164	66.490
0+260.000	2,245.758	2,243.909	2,311.110	66.947
0+280.000	2,245.943	2,243.909	2,311.019	66.856
0+284.619	2,245.980	2,244.497	2,310.998	66.247
0+288.227	2,246.380	2,244.603	2,310.982	66.125
0+300.000	2,248.618	2,246.579	2,310.928	64.095
0+320.000	2,252.392	2,250.077	2,310.838	60.507
0+336.342	2,254.506	2,252.905	2,310.764	57.605
0+340.000	2,254.997	2,253.575	2,310.747	56.918
0+340.335	2,255.042	2,253.634	2,310.746	56.858
0+346.952	2,255.926	2,254.571	2,310.716	55.891
0+359.357	2,256.946	2,256.315	2,310.659	54.090
0+380.000	2,259.625	2,259.195	2,310.566	51.117
0+381.572	2,259.844	2,259.414	2,310.559	50.891
0+385.232	2,260.426	2,259.925	2,310.542	50.363
0+388.150	2,261.042	2,260.332	2,310.529	49.943
0+400.000	2,265.185	2,264.497	2,310.475	45.724
0+408.109	2,268.803	2,267.320	2,310.438	42.864
0+411.496	2,268.689	2,267.582	2,310.423	42.587
0+419.473	2,269.622	2,268.167	2,310.387	41.966
0+440.000	2,273.404	2,271.949	2,310.294	38.091
0+446.640	2,274.599	2,272.449	2,310.264	37.561
0+448.106	2,274.869	2,273.460	2,310.257	36.543
0+460.000	2,276.537	2,275.100	2,310.203	34.849
0+468.846	2,277.735	2,276.322	2,310.163	33.587
0+480.000	2,278.777	2,277.370	2,310.112	32.488
0+487.059	2,279.439	2,278.032	2,310.080	31.794
0+500.000	2,280.484	2,279.104	2,310.022	30.664
0+520.000	2,282.097	2,280.760	2,309.931	28.917
0+540.000	2,283.778	2,282.415	2,309.840	27.171
0+550.666	2,284.704	2,282.582	2,309.792	26.956
0+560.000	2,285.818	2,284.424	2,309.750	25.072
0+580.000	2,288.361	2,286.988	2,309.659	22.417
0+600.000	2,291.262	2,289.854	2,309.568	19.460
0+620.000	2,294.716	2,293.307	2,309.478	15.917
0+640.000	2,298.527	2,297.117	2,309.387	12.016
0+645.607	2,299.613	2,298.204	2,309.362	10.904
0+648.607	2,300.312	2,298.785	2,309.348	10.309
0+655.132	2,300.387	2,298.915	2,309.318	10.149
0+660.000	2,300.350	2,298.916	2,309.296	10.126
0+664.495	2,300.316	2,298.917	2,309.276	10.105

5.7 Presupuesto

A continuación se presentan los presupuestos de las dos alternativas analizadas.

Presupuesto					
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	Total
10327	TRAZO Y NIVELACIÓN DE TERRENO PARA DESPLANTE DE ESTRUCTURA, DE 400 A 1200 M2	M2	1656.58	1.82	3,014.98
	EXCAVACIÓN CON EQUIPO NEUMÁTICO, MATERIAL II-A DE 0.00 A 6.00 DE PROFUNDIDAD	M2	120.00	389.26	46,711.20
10449	EXCAVACIÓN CON EQUIPO NEUMÁTICO, MATERIAL II-A DE 0.00 A 2.00 DE PROFUNDIDAD	M3	240.37	289.26	69,529.43
10450	EXCAVACIÓN CON EQUIPO NEUMÁTICO, MATERIAL III DE 0.00 A 2.00 DE PROFUNDIDAD	M3	1111.61	289.26	321,544.31
10148	CORTE CON SIERRA EN BANQUETA DE CONCRETO (5.0 CM DE PROFUNDIDAD)	M3	334.69	13.33	4,461.42
10107	DEMOLICIÓN DE GUARNICIONES Y BANQUETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO, ATAQUE OBLIGADO CON PICO Y MARRO, MEDIDO EN OBRA	M3	44.41	245.88	10,919.53
10142	DEMOLICIÓN A MANO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO INCLUYE: BASE DE GRAVA CEMENTADA PARA TRABAJOS DE BACHEO, MEDIDO EN BANCO	M3	9.61	196.71	1,890.38
10695	ACARREO EN CAMIÓN CON CARGA MANUAL DE DEMOLICIÓN PRIMER KILOMETRO PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN DE MAMPOSTERÍA, ROCA SUELTA	M3	1331.83	30.89	41,140.23
*tempo0	ACARREO EN CAMIÓN CON CARGA MANUAL DE MATERIAL DE DEMOLICIÓN DE CONCRETO, PRIMER KILÓMETRO	M3	45.32	30.89	1,399.93
*tempo1	ACARREO EN CAMIÓN CON CARGA MANUAL DE MATERIAL DE DEMOLICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA PRIMER KILÓMETRO	M3	10.48	30.89	323.73
10706	RELLENO DE EXCAVACIÓN CON TEPETATE COMPACTADO, PARA VOLÚMENES MENORES DE 50 M3 COMPACTADO AL 90% PROCTOR CON PISÓN	M3	1097.27	192.02	210,697.79
20406	CONCRETO HECHO EN OBRA RESISTENCIA RAPIDA VACIADO CON CARRETILLA Y BOTES F'C=200 KG/CM2 REVESTIMIENTO DE 10 CM AGREGADO MÁXIMO 3/4 EN CIMENTACIÓN	M3	72.04	1975.49	142,314.30
20408	LOSA DE CONCRETO FABRICADO EN OBRA F'C=250 KG/CM2 NORMA T.M.A. 20 CM PARA PAVIMENTOS, INCLUYE: PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, PASAJUNTAS, SELLADO DE JUNTAS, CURADO.	M3	24.36	1658.38	40,398.14
60101	CAMA DE ARENA PARA DUCTOS, INCLUYE: ACARREO LIBRE A 20.00 M	M3	155.68	369.37	57,503.52
	CARRETE CORTO DE FOFO DE 30" DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	9570.28	9,570.28
60205	CARRETES CORTOS DE FOFO DE 508 MM (20") DE DIÁMETRO	PIEZA	13.00	3705.51	48,171.63
60204	CARRETES LARGOS DE FOFO DE 508 MM (20") DE DIÁMETRO	PIEZA	6.00	4980.75	29,884.50
70963	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CODOS DE 11G 15"BRIDADOS DE FOFO.	PIEZA	4.00	5457.45	21,829.80
70953	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CODOS 22G 30' 508MM (20")	PIEZA	3.00	5457.45	16,372.35
70958	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CODOS DE 45G BRIDADOS DE FOFO DE 508MM (20")	PIEZA	36.00	5457.45	196,468.20
70955	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CODOS DE 90G BRIDADOS DE FOFO DE 508MM (20")	PIEZA	4.00	7030.63	28,122.52
71070	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VÁLVULA DE COMPUERTA BRIDADA HIERRO URREA 125 LBS DE 51 MM	PIEZA	1.00	44692.04	44,692.04
60306	BASE GRAVA CEMENTADA DE 15 CM DE ESPESOR COMPACTO INCLUYE: 1ER KILOMETRO DE ACARREO	M3	80.17	90.59	7,262.60
10210	BARRIDO DE BASE PREVIO AL RIEGO DE IMPREGNACIÓN	M2	209.67	40.84	8,562.92
21262	PICADO DE AMARRE EN CARPETA ASFÁLTICA, EN FORMA MANUAL	M2	36.46	25.62	934.11
21269	RIEGO DE LIGA CON ASFÁLTICO FM-1 INCLUYE ACARREO AL PRIMER KILOMETRO	LITRO	18.23	5.24	95.53
*temp3	RIEGO DE IMPREGNACIÓN CON ASFÁLTICO FM-1 INCLUYE ACARREO AL PRIMER KILOMETRO	LITRO	104.83	5.24	549.31
60316	CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO TIPO PA-5 DE 5 CM DE ESPESOR, CON CARGA Y ACARREO AL PRIMER KILÓMETRO	M2	209.67	40.06	8,399.38

Presupuesto					
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	Total
41302	BANQUETA DE CONCRETO HECHO EN OBRA RESISTENCIA NORMAL F' C=150 KG/CM2, AGREGADO MÁXIMO 1 1/2" DE 8 CM DE ESPESOR	M2	323.07	196.54	63,496.18
10212	SUMINISTRO E INSTALCIÓN DE SEÑALES PREVENTIVAS DE 86 X 86 CM CON LÁMINA No14 TUBO DE 50.4 CÉDULA 40 GALVANIZADO, PINTURA DE ESMALTE DE UN COLOR (DOS MANOS POR DOS CARAS), HERRAJES Y ACCESORIOS	PIEZA	25.00	992.14	24,803.50
*temp4	SUMINISTRO INSTALACIÓN Y PRUEBA DE TUBERÍA DE ACERO PARA AGUA A PRESIÓN, EL PRECIO INCLUYE CORTE BISELADO, SOLDADURA Y RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO	M	828.29	3780.31	3,131,192.97
71091	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VÁLVULA DE RETENCIÓN HORIZONTAL F-10 DE 100MM	PIEZA	1.00	58938.45	58,938.45
71096	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VALVULAS DE ADMISIÓN Y EXPULSION DE AIRE DE 7/32" (5.55MM)	PIEZA	7.00	17669.74	123,688.18
10213	CONSTRUCCIÓN DE CAJAS TIPO PARA RESGUARDO DE VÁLCULAS DE ADMISIÓN Y EXPULSIÓN SOBRE TUBERÍA DE 508 MM CON MURO DE CONCRETO ARMADO DE 1.60 DE ANCHO POR 3.50 DE LARGO	PIEZA	8.00	14371.92	114,975.36
70450	CODOS DE 1.98 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6272.47	6,272.47
70451	CODOS DE 1.50 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	3285	3,285.00
70461	CODOS DE 2.88 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6285	6,285.00
70453	CODOS DE 5.62 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6312.45	6,312.45
70454	CODOS DE 6.27 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6271.2	6,271.20
70455	CODOS DE 9.92 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6300.63	6,300.63
70456	CODOS DE 10.97 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6319.58	6,319.58
70458	CODOS DE 15 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6384.99	6,384.99
70457	CODOS DE 29.47 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6346.73	6,346.73
70459	CODOS DE 46 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6410.44	6,410.44
70460	CODOS DE 54.23 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6442.56	6,442.56
70463	CODOS DE 60 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6252.07	6,252.07
60000	BRIDAS SOLDABLES DE 508 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	103.00	2023.65	208,435.95
60001	TORNILLOS DE 1 1/8" INCLUYE TUERCA	PIEZA	2460.00	69.03	169,813.80
60002	EMPAQUE DE PLOMO DE 12" DE DIÁMETRO	PIEZA	123.00	85.55	10,522.65
TOTAL DE PRESUPUESTO ALTERATIVA No.1					5,351,514.20

Presupuesto					
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	Total
10327	TRAZO Y NIVELACIÓN DE TERRENO PARA DESPLANTE DE ESTRUCTURA, DE 400 A 1200 M2	M2	1656.58	1.82	3,014.98
10449	EXCAVACIÓN CON EQUIPO NEUMÁTICO, MATERIAL II-A DE 0.00 A 2.00 DE PROFUNDIDAD	M3	290.37	289.26	83,992.43
10450	EXCAVACIÓN CON EQUIPO NEUMÁTICO, MATERIAL III DE 0.00 A 2.00 DE PROFUNDIDAD	M3	1161.46	289.26	335,963.92
10148	CORTE CON SIERRA EN BANQUETA DE CONCRETO (5.0 CM DE PROFUNDIDAD)	M3	364.64	13.33	4,860.65
10107	DEMOLICIÓN DE GUARNICIONES Y BANQUETAS DE CONCRETO HIDRÁULICO, ATAQUE OBLIGADO CON PICO Y MARRO, MEDIDO EN OBRA	M3	48.39	245.88	11,898.13
10142	DEMOLICIÓN A MANO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO INCLUYE: BASE DE GRAVA CEMENTADA PARA TRABAJOS DE BACHEO, MEDIDO EN BANCO	M3	10.48	196.71	2,061.52
10695	ACARREO EN CAMIÓN CON CARGA MANUAL DE DEMOLICIÓN PRIMER KILOMETRO PRODUCTO DE LA DEMOLICIÓN DE MAMPOSTERÍA, ROCA SUELTA	M3	1451.83	30.89	44,847.03
*tempo0	ACARREO EN CAMIÓN CON CARGA MANUAL DE MATERIAL DE DEMOLICIÓN DE CONCRETO, PRIMER KILÓMETRO	M3	49.38	30.89	1,525.35
*tempo1	ACARREO EN CAMIÓN CON CARGA MANUAL DE MATERIAL DE DEMOLICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA PRIMER KILÓMETRO	M3	10.48	30.89	323.73
10706	RELLENO DE EXCAVACIÓN CON TEPETATE COMPACTADO, PARA VOLÚMENES MENORES DE 50 M3 COMPACTADO AL 90% PROCTOR CON PISÓN	M3	1141.07	162.02	184,876.16
20406	CONCRETO HECHO EN OBRA RESISTENCIA RAPIDA VACIADO CON CARRETILLA Y BOTES F´C=200 KG/CM2 REVESTIMIENTO DE 10 CM AGREGADO MÁXIMO 3/4 EN CIMENTACIÓN	M3	61.80	1575.49	97,365.28
40702	MURO DE PIEDRA BRAZA, ACABADO COMÚN JUNTEADO CON MORTERO CEMENTO-ARENA 1:5	M3	12.00	943.87	11,326.44
20408	LOSA DE CONCRETO FABRICADO EN OBRA F´C=250 KG/CM2 NORMA T.M.A. 20 CM PARA PAVIMENTOS, INCLUYE: PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE, PASAJUNTAS, SELLADO DE JUNTAS, CURADO.	M3	24.36	1658.38	40,398.14
60101	CAMA DE ARENA PARA DUCTOS, INCLUYE: ACARREO LIBRE A 20.00 M	M3	142.88	191.25	27,325.80
60205	CARRETES CORTOS DE FOFO DE 508 MM (20") DE DIÁMETRO	PIEZA	13.00	3705.51	48,171.63
60204	CARRETES LARGOS DE FOFO DE 508 MM (20") DE DIÁMETRO	PIEZA	6.00	4980.75	29,884.50
70963	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CODOS DE 11G 15´BRIDADOS DE FOFO.	PIEZA	6.00	5457.45	32,744.70
70953	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CODOS 22G 30´ 508MM (20")	PIEZA	4.00	5457.45	21,829.80
70958	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CODOS DE 45G BRIDADOS DE FOFO DE 508MM (20")	PIEZA	36.00	5457.45	196,468.20
70955	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CODOS DE 90G BRIDADOS DE FOFO DE 508MM (20")	PIEZA	4.00	7030.63	28,122.52
71070	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VÁLVULA DE COMPUERTA BRIDADA HIERRO URREA 125 LBS DE 51 MM	PIEZA	1.00	44692.04	44,692.04
60306	BASE GRAVA CEMENTADA DE 15 CM DE ESPESOR COMPACTO INCLUYE: 1ER KILOMETRO DE ACARREO	M3	80.17	90.59	7,262.60
10210	BARRIDO DE BASE PREVIO AL RIEGO DE IMPREGNACIÓN	M2	209.67	40.84	8,562.92
21262	PICADO DE AMARRE EN CARPETA ASFÁLTICA, EN FORMA MANUAL	M2	36.46	25.62	934.11
21269	RIEGO DE LIGA CON ASFÁLTICO FM-1 INCLUYE ACARREO AL PRIMER KILOMETRO	LITRO	18.23	5.24	95.53
*temp3	RIEGO DE IMPREGNACIÓN CON ASFÁLTICO FM-1 INCLUYE ACARREO AL PRIMER KILOMETRO	LITRO	104.83	5.24	549.31
60316	CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO TIPO PA-5 DE 5 CM DE ESPESOR, CON CARGA Y ACARREO AL PRIMER KILÓMETRO	M2	209.67	40.06	8,399.38

Presupuesto					
Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio U.	Total
41302	BANQUETA DE CONCRETO HECHO EN OBRA RESISTENCIA NORMAL F' C=150 KG/CM2, AGREGADO MÁXIMO 1 1/2" DE 8 CM DE ESPESOR	M2	323.07	196.54	63,496.18
10212	SUMINISTRO E INSTALCIÓN DE SEÑALES PREVENTIVAS DE 86 X 86 CM CON LÁMINA No14 TUBO DE 50.4 CÉDULA 40 GALVANIZADO, PINTURA DE ESMALTE DE UN COLOR (DOS MANOS POR DOS CARAS), HERRAJES Y ACCESORIOS	PIEZA	25.00	992.14	24,803.50
*temp4	SUINISTRO INSTALACIÓN Y PRUEBA DE TUBERÍA DE ACERO PARA AGUA A PRESIÓN, EL PRECIO INCLUYE CORTE BISELADO, SOLDADURA Y RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO	M	828.29	3780.31	3,131,192.97
71091	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VÁLVULA DE RETENCIÓN HORIZONTAL F-10 DE 100MM	PIEZA	1.00	58938.45	58,938.45
71096	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE VALVULAS DE ADMISIÓN Y EXPULSION DE AIRE DE 7/32" (5.55MM)	PIEZA	7.00	17669.74	123,688.18
10213	CONSTRUCCIÓN DE CAJAS TIPO PARA RESGUARDO DE VÁLCULAS DE ASMISIÓN Y EXPULSIÓN SOBRE TUBERÍA DE 508 MM CON MURO DE CONCRETO ARMADO DE 1.60 DE ANCHO POR 3.50 DE LARGO	PIEZA	8.00	14371.92	114,975.36
70450	CODOS DE 1.98 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6272.47	6,272.47
70451	CODOS DE 1.50 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	3285	3,285.00
70461	CODOS DE 2.88 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6285	6,285.00
70453	CODOS DE 5.62 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6312.45	6,312.45
70454	CODOS DE 6.27 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6271.2	6,271.20
70455	CODOS DE 9.92 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6300.63	6,300.63
70456	CODOS DE 10.97 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6319.58	6,319.58
70458	CODOS DE 15 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6384.99	6,384.99
70457	CODOS DE 29.47 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6346.73	6,346.73
70459	CODOS DE 46 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6410.44	6,410.44
70460	CODOS DE 54.23 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6442.56	6,442.56
70463	CODOS DE 60 GRADOS DE ACERO DE 5088 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	1.00	6252.07	6,252.07
60000	BRIDAS SOLDABLES DE 508 MM DE DIÁMETRO	PIEZA	103.00	2023.65	208,435.95
60001	TORNILLOS DE 1 1/8" INCLUYE TUERCA	PIEZA	2460.00	69.03	169,813.80
60002	EMPAQUE DE PLOMO DE 12" DE DIÁMETRO	PIEZA	123.00	85.55	10,522.65
TOTAL DE PRESUPUESTO ALTERNATIVA No. 2					5,256,246.94

5.8 Planos de Proyecto

A continuación se encuentran los planos que conforman el “Proyecto ejecutivo de la sustitución de tubería de agua potable”

1. Plano General
2. Plano Topográfico
3. Línea de Conducción de Agua Potable Planta y Perfil del Km. 0+163.793 AL 0+386.150
4. Línea de Conducción de Agua Potable Planta y Perfil del Km. 0+386.150 AL 0+884.495
5. Perfiles Hidráulicos de la Línea de Agua Potable Perfil del Km. 0+163.793 AL 0+388.150
6. Levantamiento de detalle del Rebombeo Aduana
7. Levantamiento de detalle del Rebombeo GM – 11
8. Alternativa de Trazo Cruzando las Vías del Ferrocarril
9. Detalle de Alcantarilla
10. Cruceos Planta del Km. 0+163.793 AL 0+664.495
11. Propuestas y Alternativas de Trazo

CAPÍTULO 6.
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

6.1 Manifestación del Impacto Ambiental en la zona de proyecto

Dependencia contratante

- Nombre de la empresa u organismo solicitante:

Secretaría de Obras y Servicios.

Sistema de Aguas del Distrito federal, Dirección Técnica.

Subdirección de Ingeniería Hidráulica.

Unidad Departamental de Proyectos de Agua Potable.

Datos generales

- Nombre de la Empresa:
- Registro Federal de Contribuyentes:
- Nombre y Puesto del Representante del Proyecto:
- Nacionalidad de la Empresa:
- Actividad Principal de la Empresa:
- Domicilio para Oír y Recibir Notificaciones:
- Cámara o Asociaciones a la que Pertenece:
- Responsable de la Elaboración del Informe Preventivo:

Ubicación y descripción general de la obra o actividad proyectada

- Nombre del proyecto:

Proyecto ejecutivo de la sustitución de tubería de agua potable en la calle Cuauhtemoc a la calle Cedro, sobre las calles Puerto de Mazatlán, Calle uno, Huitzilopochtli y Cerrada de verano, Delegación Gustavo A. Madero

- Naturaleza del proyecto:

Dentro de los programas de construcción de líneas de conducción y distribución de agua potable, sustitución de redes existentes y reparación de fugas que se llevan a cabo en las distintas delegaciones políticas del Distrito Federal, se tiene contemplado los trabajos de la obra denominada Línea de Conducción de Agua Potable sobre las Calles Puerto de Mazatlán, Calle dos, Huitzilopochtli, Fresno y Primavera, en la Delegación Gustavo A. Madero, misma que tiene por finalidad reforzar y mejorar el servicio de distribución de líquido en las colonias La Pastora, Barrio La Candelaria Ticomán, Barrio Guadalupe Ticomán y Barrio San Juan Ticomán. La línea tiene una longitud aproximada de 828 m y diámetro de 20" (508 mm), construida con tubería de acero cédula 40. Conecta al Rebombear Aduana con el Tanque - Rebombear GM-11, necesitando para ello una carga de 68.181 mca. El gasto de diseño es de 0.241 m³/s.

- Vida útil del proyecto:

10 Años.

- Programa de trabajo

A continuación se listan las actividades principales a realizar.

- a) Corte de pavimento con sierra: 364.64 m.
- b) Excavación con medios mecánicos: 362.95 m³.
- c) Excavación con equipo neumático: 1,088.88 m³.
- d) Suministro e instalación de tuberías: 828.29 m.
- e) Suministro e instalación de piezas especiales y válvulas: 90 piezas.

- f) Construcción de cajas: 7 piezas
 - g) Relleno de zanjas: 1,141.07 m³.
 - h) Pavimentación: 209.67 m².
-
- Ubicación física del proyecto:
Calles: Puerto de Mazatlán, Dos, Huitzilopochtli, Fresno y Primavera, en la delegación Gustavo A. Madero.
 - Situación legal del predio:
Vía pública.
 - Superficie requerida:
1,656 m².
 - Colindancia del predio y actividad que se desarrolla:
Casas habitación.
 - Obra civil desarrollada para preparación del terreno:
Ninguna.
 - Vías de acceso:
Por el norte avenidas Emiliano Zapata y Cuauhtepac.
Por el poniente Bulevar del Temoluco, Río San Javier.
Por el sur Miguel Bernard.
Por el oriente Av. Acueducto, Calzada Ticomán.
 - Requerimientos de mano de obra:
 - a) 2 Cuadrillas de albañilería.
 - 1 Cabo.
 - 1 Oficial.
 - 2 Ayudantes.
 - b) 2 Cuadrillas de excavación con equipo hidráulico o neumático manual.
 - 1 Cabo.

- 1 Ayudantes.
 - c) 2 Cuadrillas de plomería.
 - 1 Cabo.
 - 1 Oficial.
 - 1 Ayudante.
 - d) 4 Cuadrillas de pailería.
 - 1 Cabo.
 - 2 Soldadores calificados.
 - 3 Ayudantes.
 - e) 1 Cuadrilla de pavimentación.
 - 1 Cabo.
 - 2 Oficial.
 - 3 Ayudantes.
 - f) 1 Cuadrilla de limpieza.
 - 1 Cabo.
 - 2 Ayudantes.
 - g) 1 Cuadrilla para carga y acarreo de materiales fuera de obra.
 - 1 Cabo.
 - 2 Ayudantes.
 - i) Cuadrilla para operación de equipo especializado.
(Según el número de equipos que se utilice).
 - 1 Operador.
 - 1 Ayudante.
- Sitios alternativos para el desarrollo de la obra:
Calles: Puerto de Mazatlán, Uno, Tres, Huitzilopochtli y Cerrada de Verano.

Descripción del proceso

- Materiales y sustancias que serán utilizadas en las etapas de preparación del sitio, construcción, operación y mantenimiento de la obra proyectada:
 - 1) Material a utilizarse en la etapa de construcción:
 - a) Tubería de Acero Cédula 40 de 20” de diámetro: 828.29 m.

- b) Piezas especiales de fierro fundido y acero (válvulas, codos, etc.): 90 piezas.
- c) Concreto hidráulico: 109.06 m³
- d) Arena, para camas en zanjas: 142.88 m³.
- e) Tepetate, para relleno de zanjas: 1,141.07 m³.
- f) Asfalto, para bacheo: 10.48 m³.

2) Equipo a utilizar en la construcción:

- a) Cortadoras de pavimento.
- b) Trascabos.
- c) Retroexcavadora con martillo hidráulico o neumático.
- d) Martillos hidráulicos o neumáticos.
- e) Compresores.
- f) Sand-Blast.
- g) Grúas para tendido de tuberías de acero.
- h) Plantas de luz.
- i) Soldadoras.
- j) Camiones de volteo.
- k) Compactadoras.
- l) Aplanadoras de rodillo.

Aspectos generales del mundo natural

La zona cuenta con una urbanización que corresponde al de viviendas de nivel socio – económico medio bajo.

Medidas de mitigación de impacto ambiental

Durante la construcción

Durante la construcción se generarán fuertes ruidos por la operación de la maquinaria, de corte de pavimento, excavación y suministro de materiales.

Se generarán algunos problemas viales durante las maniobras de carga y descarga de materiales.

Existirán partículas de polvo en el ambiente durante toda la obra, debido a las excavaciones y por el manejo de materiales tales como tezontle, tepetate, tabique y arena.

Los ruidos pueden ser menos molestos, si las labores se realizan entre las 8:00 y las 18:00 horas, a fin de no afectar por las noches a los habitantes de la zona.

Por otra parte se recomienda suministrar materiales y realizar acarreos durante las horas no pico.

Las partículas de polvo suspendidas en el ambiente se pueden aminorar mediante riego a los materiales susceptibles a levantarse con el aire.

Durante la operación

Durante la operación de esta obra, no se causa ningún problema al ambiente, ya que sus instalaciones quedan completamente bajo el nivel de la calle.

Principales efectos ambientales

El medio ambiente se favorece con la sustitución de la línea conducción al reducir el caudal de agua potable perdido por fugas, debidas estas a la antigüedad del conducto existente, al hundimiento del terreno y/o los movimientos sísmicos.

Se tendrá también un beneficio al medio ambiente una vez que se sustituyan los equipos de bombeo que actualmente operan, por otros que funcionen con mayor eficiencia, reduciendo el consumo de energía eléctrica.

CAPÍTULO 7.
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

El proyecto realizado en la zona del Chiquihuite representa una notable mejora en el suministro de agua potable a las colonias de reciente formación, es necesario que se lleven a cabo mas proyectos con las mismas características, ya que al mejorar un sistema como el que alimenta al Rebombeco GM - 11, estaremos mejorando la calidad de vida de la población cubriendo de este modo una de las necesidades para el ser humano.

De manera general, la eficiencia en conjunto se considera como aceptable, y cubre con la demanda actual de la población, del mismo modo debemos tomar en cuenta que lo anterior es solo una parte de lo mucho que se puede hacer para mejorar la eficiencia en los sistemas de abastecimiento de agua potable y de que el Sector requiere de una amplia sensibilización del tema.

Al realizar el cambio de la tubería actual, se recupera gran parte del caudal que se perdía a lo largo de la red de distribución, esta agua recuperada incrementa no sólo la cantidad, sino también la presión con que llegara hasta el tanque Rebombeco GM – 11.

La resistencia de la tubería bajo el efecto de un fenómeno transitorio de presión es capaz de soportar la sobrepresión generada en la línea por efecto del desplazamiento de la onda positiva, así como la subpresión presentada por la onda de retorno que provoca presiones negativas no recomendables en la operación.

7.2 Recomendaciones

La realización del presente trabajo nos permite sugerir las siguientes recomendaciones:

Cuando la deflexión necesaria en los cambios de dirección no corresponda al de un valor estándar se requiere entonces fabricar los codos en acero, de los cuales se presenta su desarrollo en el plano de cruceros.

Se recomienda realizar un estudio de impacto ambiental más profundo con la finalidad de tener una forma más clara y concisa de las afectaciones y los beneficios para la sociedad al momento de realizar un proyecto de esta índole.

De los costos asociados a la operación de un sistema de bombeo, el consumo eléctrico es un componente que pasa inadvertido debido a la percepción de que “es algo con lo que se tiene que vivir”. Sin embargo, mediante la optimización de los sistemas de bombeo actuales en el Rebombado Aduana es posible reducir los costos de operación simplemente dando el debido mantenimiento los motores que impulsan las bombas.

Bibliografía

Bibliografía

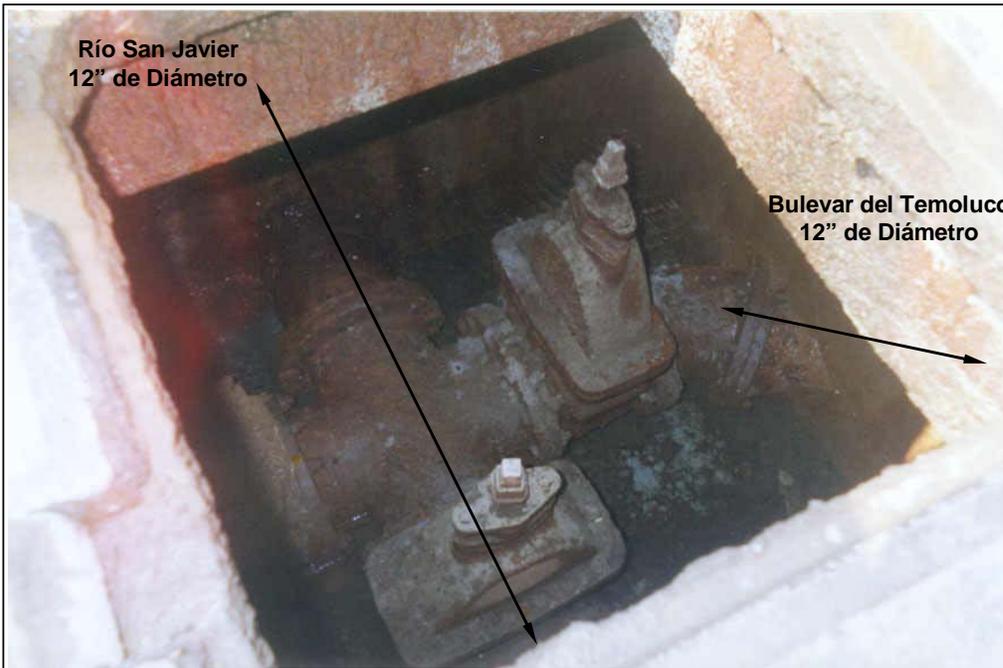
- Diseño y Operación Hidráulicos de Conducciones de Agua a Presión. Fascículo I. Introducción General. Instituto de Ingeniería, UNAM, 1995.
- Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías. División de Ingeniería de CRANE. Ed. McGraw-Hill, México, 1992.
- Abastecimiento de Agua Potable. Enrique César Valdez. Facultad de Ingeniería, UNAM, 1991.
- Normas de Construcción. Secretaría General de Obras. DDF, 1989.
- Hidráulica General. Gilberto Sotelo Ávila. Ed. Limusa, México, 1978.
- Abastecimiento de Agua Potable y Disposición y Eliminación de Excretas. Pedro López Alegría. Instituto Politécnico Nacional, México 1994.
- Plan Maestro de Agua Potable del Distrito Federal 1997-2010. DGCOH, 1997.
- CSR Polypipe®, Design & Engineering Guide For Polyethylene Piping, Gainesville, TX, USA, 1997.
- Red Primaria y Secundaria de Agua Potable de la Ciudad de México. 1 Hoja Escala 1:2,000. Clave N7-E4. Febrero de 1979.

ANEXOS

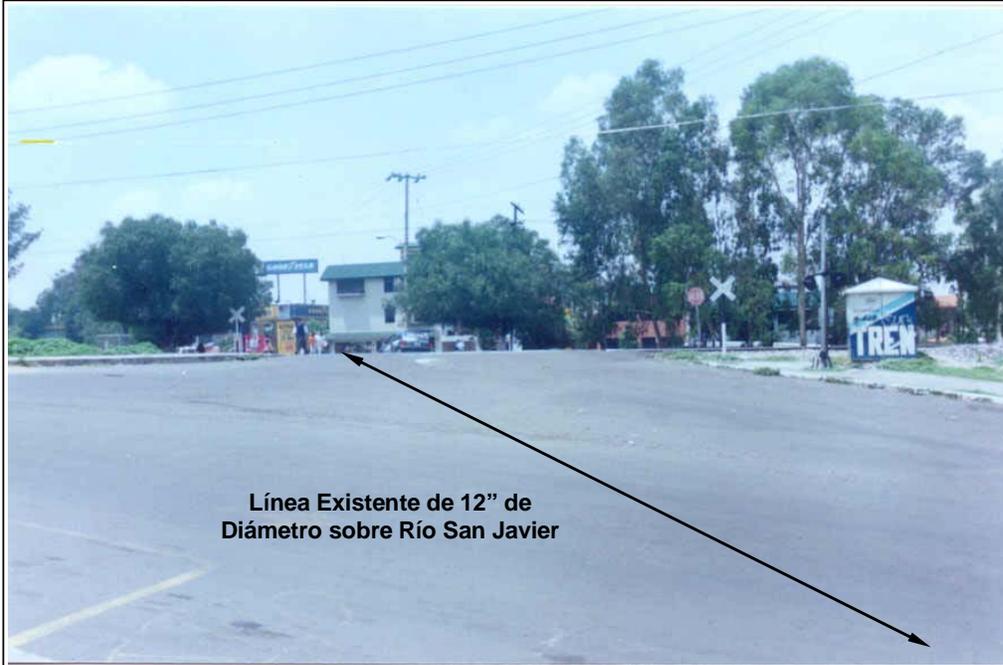
Reporte fotográfico



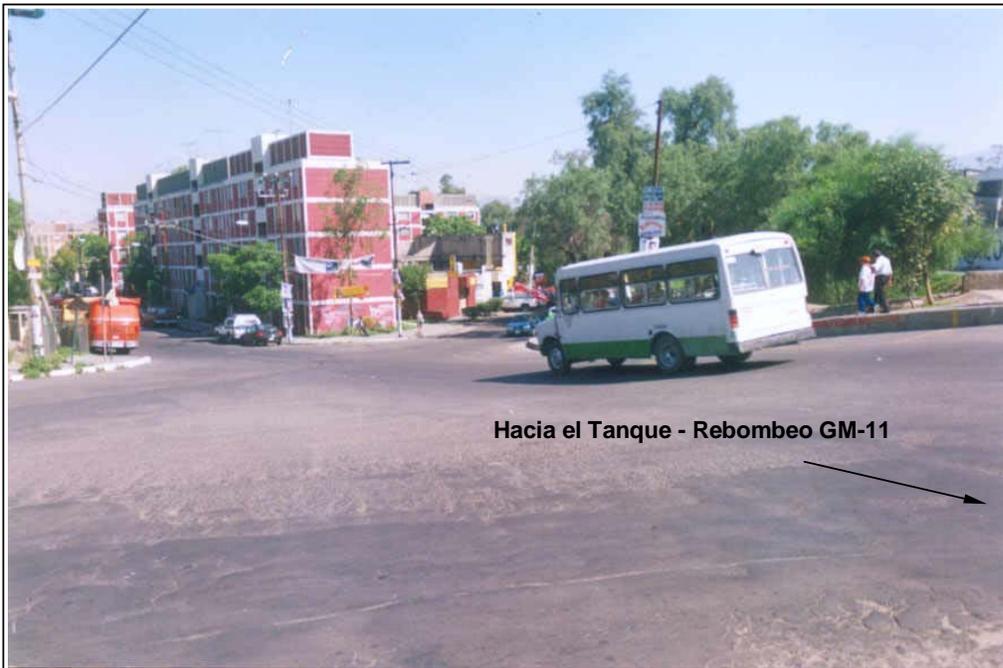
Fotografía 1
Aspecto del Punto Inicial, desde la Esquina que forman Bulevar del Temoluco y Río San Javier, Visto de Poniente a Oriente



Fotografía 2
Vista del Cruce en la Caja Inicial



Fotografía 3
Trazo Aproximado de Línea Existente de 12", en Sitio de Conexión Propuesto.



Fotografía 4
Aspecto de las Calles Bulevar del Temoluco y Río San Javier, en el Punto de Inicio para la Línea de Proyecto



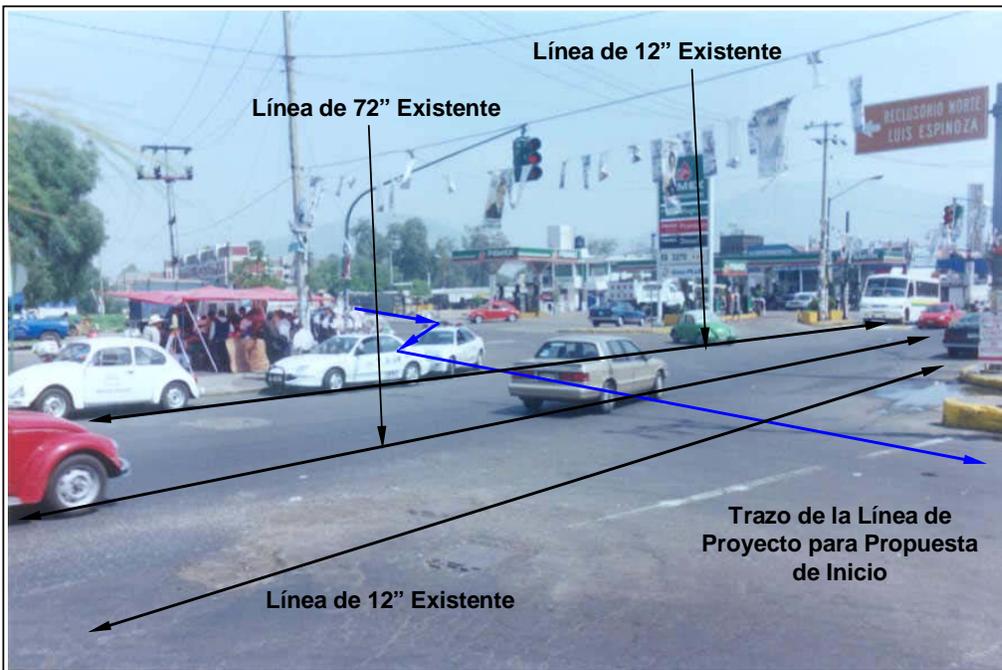
Fotografía 5
Alcantarilla en el Río San Javier para el Cruce de Bulevar del Temoluco, Vista de Sur a Norte



Fotografía 6
Trazo de la Línea de Proyecto en el Cruce con Río San Javier, Visto desde Aguas Arriba de la Alcantarilla en la Margen Derecha



Fotografía 7
Trazo de la Línea de Proyecto en el Cruce con Río San Javier, Visto desde la Margen Izquierda



Fotografía 8
Trazo de la Línea de Proyecto en el Cruce con Av. Cuauhtepac



Fotografía 9
Trazo de la Línea de Proyecto en Bulevar del Temoluco, Visto desde el Cruce con Av. Cuauhtepac



Fotografía 10
Trazo de la Línea de Proyecto en Bulevar del Temoluco



Fotografía 11
Trazo de la Línea de Proyecto en la Unión de Bulevar del Temoluc con Av. Puerto de Mazatlán



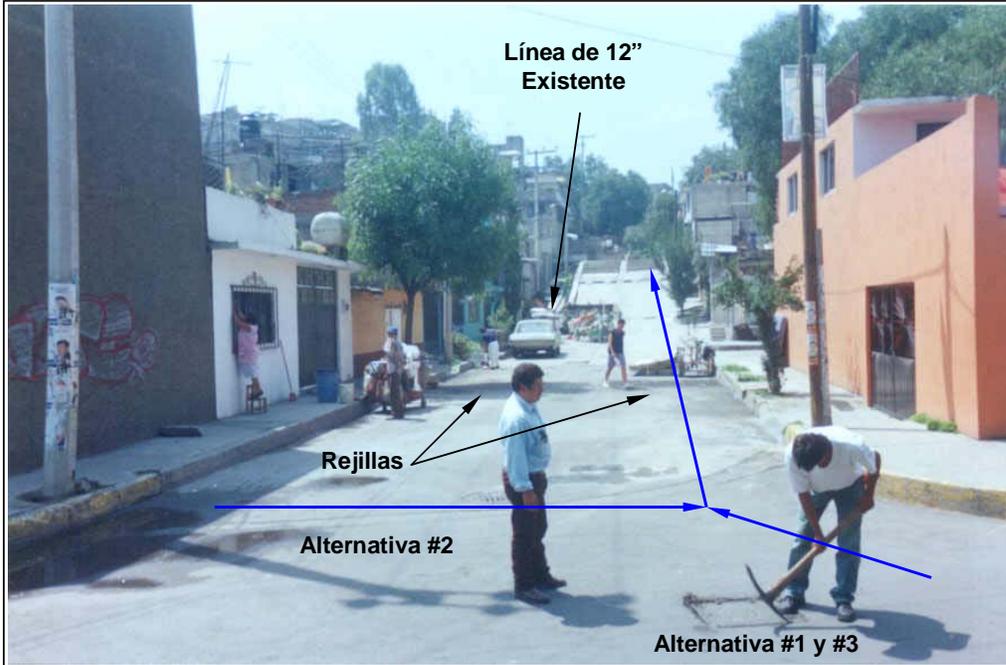
Fotografía 12
Trazo de la Línea de Proyecto en Av. Puerto de Mazatlán



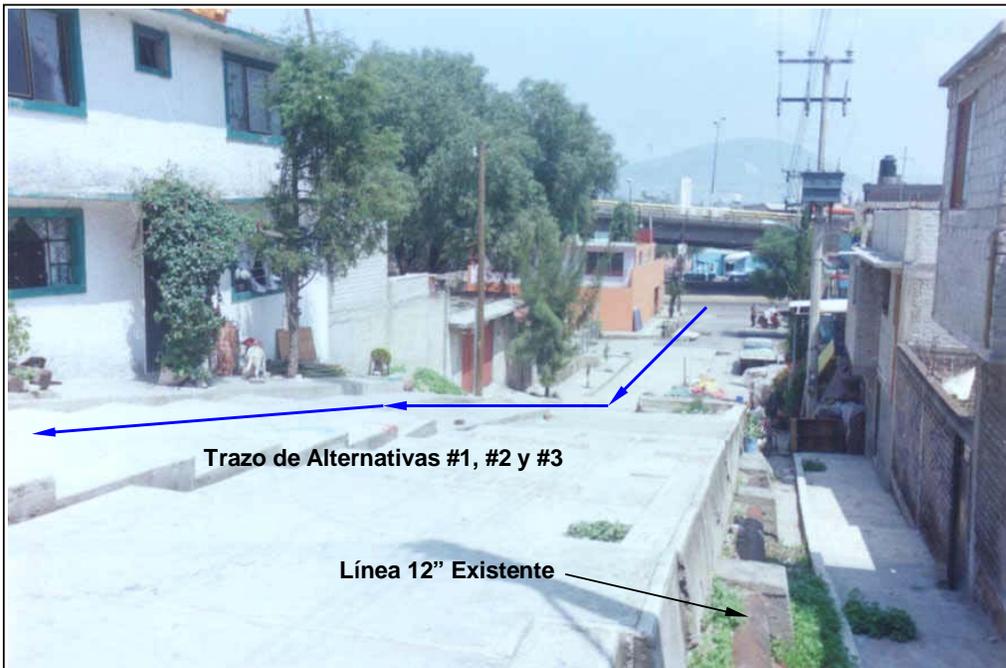
Fotografía 13
Trazo de la Línea de Proyecto en Av. Puerto de Mazatlán y Calle Dos



Fotografía 14
Trazo de la Línea de Proyecto para Propuesta. Trazo por Calle Uno



Fotografía 15
Alternativa #1 y #3. Trazo por Calle Dos.
Alternativa #2. Inicio de la Línea en Calle Dos y Av. Puerto de Mazatlán



Fotografía 16
Trazo de la Línea de Proyecto de 20" de Diámetro en Calle Dos



Fotografía 17
Trazo de la Línea de Proyecto para Propuesta. Trazo por Calle Tres Visto desde Calle Dos



Fotografía 18
Trazo de la Línea de Proyecto para Propuesta. Trazo por Calle Tres.
Alternativas #1, #2 y #3. Trazo por Calle Dos



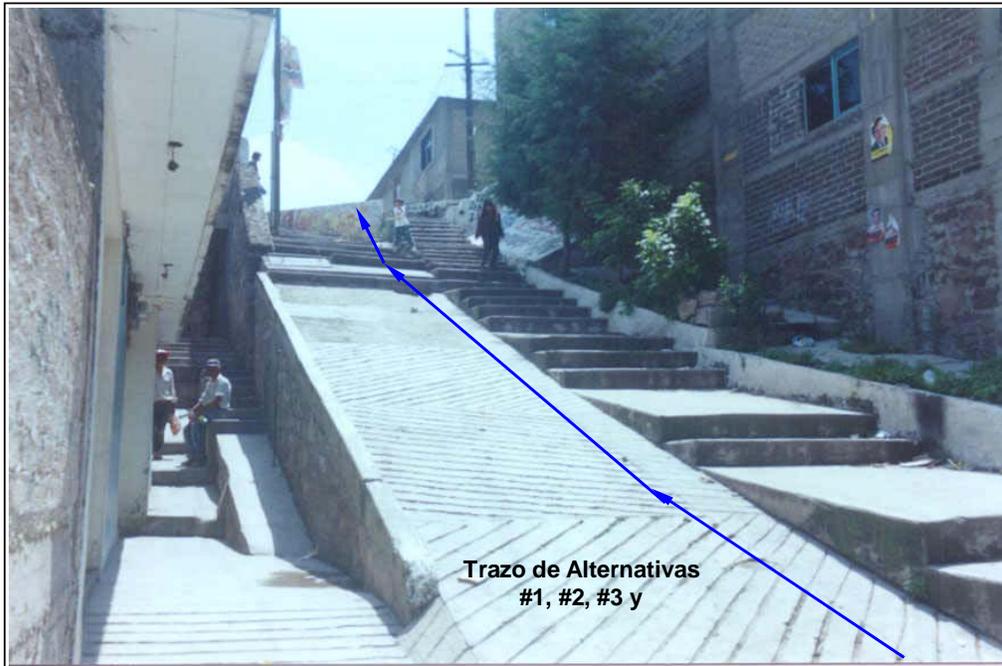
Fotografía 19
Trazo de la Línea de Proyecto en Calle Dos y Huitzilopochtli



Fotografía 20
Trazo de la Línea de Proyecto en Calle Dos y Huitzilopochtli



Fotografía 21
Trazo de la Línea de Proyecto en Huitzilopochtli



Fotografía 22
Trazo de la Línea de Proyecto en Huitzilopochtli



Fotografía 23
Trazo de la Línea de Proyecto en Huitzilopochtli y Fresno para Alternativas #1, #2 y #3



Fotografía 24
Trazo de la Línea de Proyecto en Fresno y Primavera para Alternativas #1, #2 y #3



Fotografía 25
Trazo de la Línea de Proyecto en Primavera para las Alternativas #1, #2 y #3



Fotografía 26
Trazo de la Línea de Proyecto en Primavera y Pino para las Alternativas #1, #2 y #3



Fotografía 27
Trazo de la Línea de Proyecto en la Entrada al Tanque -
Rebombeo GM-11 para las Alternativas #1, #2 y #3



Fotografía 28
Trazo de la Línea de Proyecto Dentro del Tanque -
Rebombeo GM-11 para las Alternativas #1, #2 y #3



Fotografía 29
Llegada al Tanque - Rebombéo GM-11 para las Alternativas #1, #2 y #3



Fotografía 30
Trazo de la Línea de Proyecto en Huitzilopochtli y Fresno para Propuesta



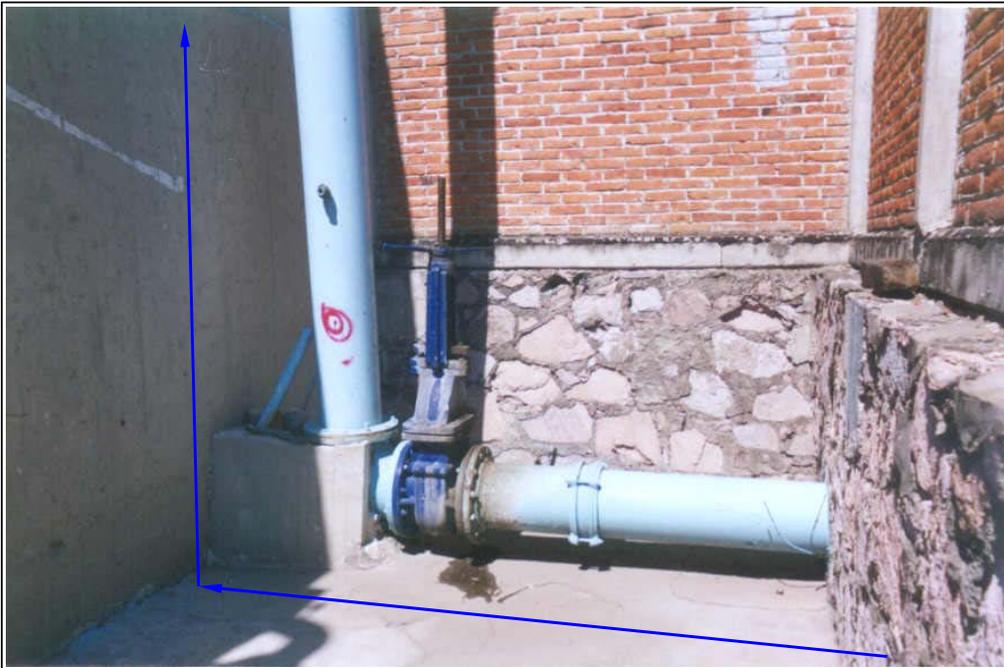
Fotografía 31
Trazo de la Línea de Proyecto en Huitzilopochtli y Verano para Propuesta



Fotografía 32
Trazo de la Línea de Proyecto en Verano para Propuesta



Fotografía 33
Llegada al Tanque - Rebombéo GM-11 por la Parte Posterior para Propuesta



Fotografía 34
Llegada al Tanque - Rebombéo GM-11 para Propuesta, desde el Interior del Predio que Ocupa la Estructura



Fotografía 35
Alternativa #3 y #4. Trazo Propuesto a la Salida del Rebombeco Aduana



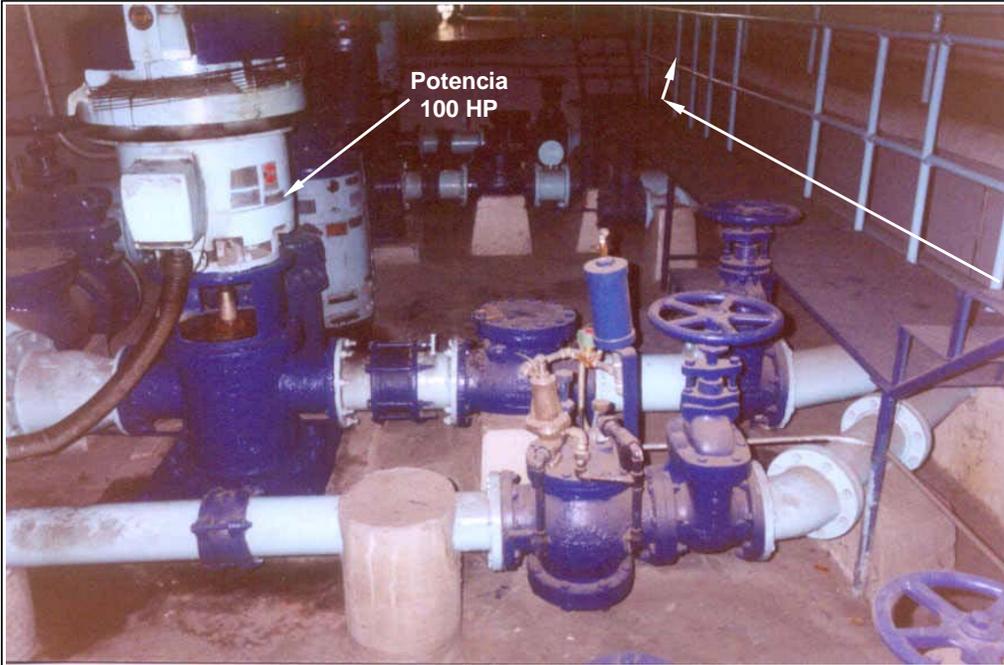
Fotografía 36
Alternativa #4. Trazo Propuesto en el Cruce de Av. Cuauhtepac y Calzada Ticomán



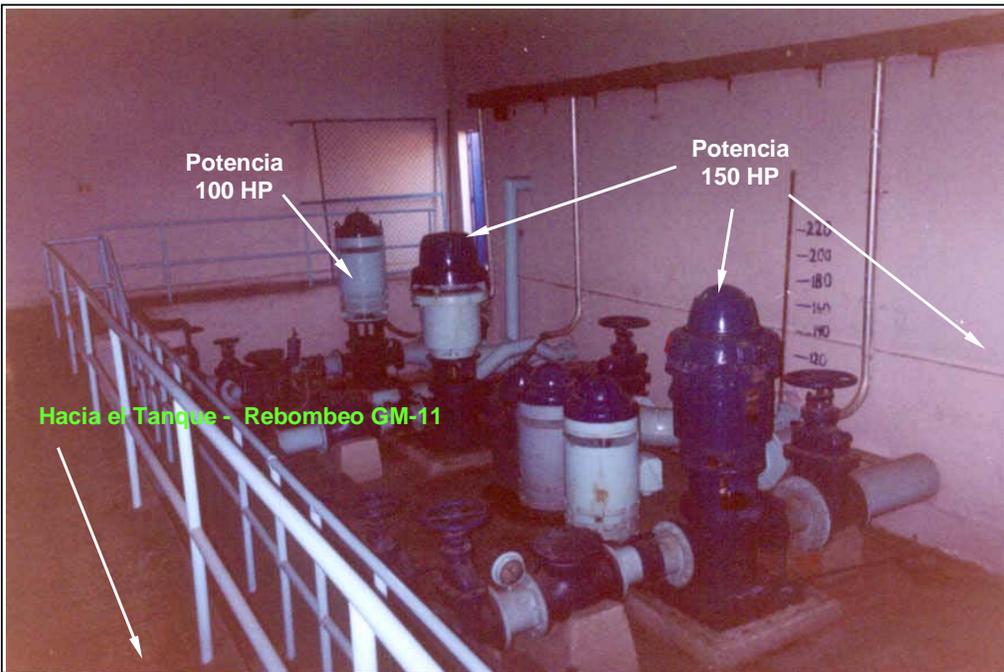
Fotografía 37
Alternativa #3. Trazo Propuesto en Calzada Ticomán



Fotografía 38
Tren de Salida en Rebombéo Aduana



Fotografía 39
Equipamiento en Rebombéo Aduana



Fotografía 40
Equipamiento y Salida del Tanque en Rebombéo Aduana