



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado

**CASOS EXCEPCIONALES DE ALCANTARILLADO
SANITARIO EN HIDALGO, MÉXICO**

TESIS

Que para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Presenta:

ING. MÓNICA ROCÍO VÁZQUEZ ROJAS

Asesor

M.I. Raúl González Padilla

Coasesor

Dr. Enrique Montiel Piña

Puebla, Pue.

Mayo 2014



Oficio No. 1582/2014

C. MÓNICA ROCÍO VÁZQUEZ ROJAS

Pasante de la Mtría. en Ingeniería en Construcción
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito M. en I. Edgar Iram Villagrán Arroyo, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema intitulado: **Casos excepcionales de alcantarillado sanitario en Hidalgo, México.** Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Construcción. Asignándose como Asesor al M.I. Raúl David González Padilla y Co-asesor Dr. Enrique Montiel Piña.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"
H. Puebla de Zaragoza, a 12 de mayo de 2014.

M. en I. EDGAR IRAM VILLAGRAN ARROYO
DIRECTOR



C.c.p. M.I. Raúl David González Padilla, Asesor del Tema de Tesis

C.c.p. Dr. Enrique Montiel Piña, Co-asesor del Tema de Tesis

C.c.p. Archivo

GJS/RGP/sco*

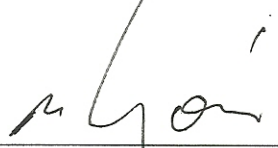
M. I. Edgar Iram Villagrán Arroyo
Director de la Facultad de Ingeniería, BUAP
P R E S E N T E:

Los suscritos, Mtro. Raúl David González Padilla y Dr. Enrique Montiel Piña, Asesor y Coasesor, respectivamente, del tema de Tesis titulado "**Casos excepcionales del alcantarillado sanitario en Hidalgo, México**", presentado por la C. Ing. Mónica Rocío Vázquez Rojas, pasante de la Maestría de Ingeniería en Construcción, nos permitimos informar a Usted que después de haber revisado la tesis antes mencionada, no tenemos inconveniente alguno en autorizar la impresión de la misma.

Hacemos de su conocimiento lo anterior para los efectos y fines académicos a que haya lugar.



ATENTAMENTE
"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"
H. Puebla de Z., a 20 de Mayo de 2014.


M. I. Raúl David González Padilla
Asesor de Tesis


Dr. Enrique Montiel Piña
Coasesor de Tesis

c. c. p. Dr. Gabriel Jiménez Suárez.- Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado.- P. s. c.
c. c. p. Mtro. Raúl González Padilla.- Coordinador de la Maestría en Ingeniería en Construcción.- P. s. c.
c. c. p. Ing. Mónica Rocío Vázquez Rojas.- Estudiante. P. s. c.
c. c. p. Archivo

*El presente trabajo lo dedico al
Creador, por darme una segunda
oportunidad*

A

gradezco a:

*Mis padres, por darme la oportunidad de formar parte de este mundo en el que
he encontrado grandes satisfacciones,*

Mi familia, por su paciencia y amor incondicional,

Mis maestros, por sus conocimientos compartidos.

*Con admiración y respeto, un agradecimiento especial al Dr. Enrique Montiel
Piña, por su apoyo.*

Todas las personas que formaron parte de este trabajo.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Dedicatorias | i |
| Agradecimientos | ii |
| Introducción | v |
| Resumen | xii |
| Capítulo 1: Fundamento Teórico de casos excepcionales | 1 |
| 1.1 Componentes de un Sistema de Alcantarillado | 1 |
| 1.1.1 Tuberías | 2 |
| 1.1.2 Pozos de visita | 2 |
| 1.1.3 Descargas domiciliarias | 4 |
| 1.1.4 Plantas de Tratamiento | 4 |
| 1.1.5 Estructura de vertido | 5 |
| 1.2 Diseño Hidráulico | 6 |
| 1.2.1 Planeación General | 7 |
| 1.2.2 Fórmulas de diseño | 8 |
| 1.2.3 Variables de diseño | 9 |
| 1.2.3.1 Velocidades de flujo mínima y máxima | 9 |
| 1.2.3.2 Pendientes y diámetros | 10 |
| 1.2.3.3 Gastos de diseño | 11 |
| 1.2.4 Red de atarjeas | 13 |
| 1.2.3 Ejemplo práctico de cálculo de casos excepcionales | 14 |
| Capítulo 2: Características Generales del Área de Estudio | 19 |
| 2.1 Generalidades | 19 |
| 2.1.1 Población | 21 |
| 2.1.2 Localización geográfica | 22 |
| 2.1.3 Relieve y topografía | 22 |
| 2.1.4 Hidrología | 23 |
| 2.1.5 Climatología de la región | 23 |
| 2.1.6 Riesgos y desastres naturales | 25 |
| 2.1.7 Contaminación | 25 |
| 2.1.8 Dinámica poblacional | 26 |
| 2.1.9 Asentamientos | 27 |
| 2.2 Zonas de oportunidad | 28 |

| | |
|--|----|
| Capítulo 3: Aplicación de Casos Excepcionales de Alcantarillado Sanitario en Zonas Altas de Pachuca de Soto | 33 |
| 3.1 Delimitación de la zona de estudio | 33 |
| 3.2 Trabajos de campo | 35 |
| 3.3 Reportes de información | 38 |
| 3.4 Resultados | 39 |
| 3.5 Interpretación de resultados | 41 |
| Conclusiones | 43 |

Bibliografía

Anexos

Introducción

La historia del abastecimiento y evacuación de aguas empieza con el crecimiento de las capitales antiguas o de los centros religiosos y comerciales, así como con el crecimiento de las ciudades. Los descubrimientos científicos e inventos de ingeniería de los siglos XVIII y XIX crearon industrias centralizadas a cuyo alrededor se conglomeró la gente en busca de empleo. Se elevó así el nivel de vida de un gran número de personas; sin embargo, la falta de organización en la comunidad creó crecimientos descontrolados, es decir, sin planeación urbana.

A finales del siglo XIX, se descubrió y se confirmó científicamente que el cólera, la fiebre tifoidea y otras infecciones entéricas, podían ser transmitidas mediante el agua, pues ésta contiene frecuentemente los agentes causantes de estas enfermedades [1].

Si bien es cierto que hoy en día es difícil vigilar el ordenamiento adecuado de las poblaciones, se deben atender las necesidades y requerimientos mínimos que demanda la ciudadanía, sea cual fuere la situación de sus asentamientos y pese a las condiciones económicas por la que atraviesa el país.

La construcción de un sistema formal de abastecimiento de agua potable genera entonces la necesidad de contar con una forma de evacuación de aguas residuales, es decir, conducir de manera segura y eficiente el agua residual generada por una población, hasta la disposición final de la misma. Tanto el agua potable como el alcantarillado sanitario forman parte de los servicios básicos para el desarrollo de toda comunidad.

Introducción

Un sistema de alcantarillado sanitario está integrado en general de los siguientes elementos: atarjeas, colectores, interceptores, emisores, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, descarga final y obras accesorias. El destino final de las aguas servidas podrá ser, previo tratamiento, desde un cuerpo receptor hasta el rehúso o la recarga de acuíferos, dependiendo del tratamiento que se realice y de las condiciones particulares de la zona de estudio.

Después de darle un uso al agua de abastecimiento, al pasar por las diversas actividades de una población, se generan desechos líquidos de un núcleo urbano y que están constituidos, fundamentalmente, de agua más sólidos orgánicos e inorgánicos, disueltos y en suspensión, mismos que deben cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y del tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

El encauzamiento de aguas residuales exhibe la importancia de aplicar lineamientos técnicos que permitan elaborar proyectos de alcantarillado sanitario eficientes, seguros, económicos y durables, considerando que deben ser auto limpiantes, autoventilantes e hidráulicamente herméticos a la exfiltración e infiltración. Esto último para evitar la contaminación de mantos acuíferos y el aumento en los caudales de conducción, respectivamente.

A través de los años, en el desarrollo de estudios y proyectos de sistemas de alcantarillado sanitario, se ha observado que es importante que los recursos económicos asignados a éste tipo de obras se optimicen, se apliquen de manera adecuada y que satisfagan las necesidades para los cuales fueron diseñados.

Con el presente estudio se pretende verificar el funcionamiento hidráulico en redes de atarjeas que, por sus condiciones topográficas, están sometidas a fuertes pendientes de funcionamiento hidráulico, por lo que se consideran casos excepcionales de alcantarillado sanitario debido a las posibles altas velocidades efectivas de flujo.

Introducción

En el mundo existen 6908.6 millones de personas, de las cuales, según el censo oficial para el año 2010, en México se reportaron 112.3 millones de habitantes, de los cuales el 2.4 % se localizan en el Estado de Hidalgo, con lo que ocupa el lugar 17 en número de habitantes en relación a los 32 estados que integran la República Mexicana¹.

En la ciudad de Pachuca de Soto se cuenta con zonas altas diversas que representan una posibilidad de análisis de casos excepcionales. Ejemplos de este tipo de casos, en los cuatro puntos cardinales de la ciudad son: al norte las colonias El Mirador, Las Lajas, La Española, Patoni, El Mosco, El Arbolito, entre otras; al sur se considera como colonias altas a Cerro de Cubitos, Palmitas, Bosques del Peñar, Adolfo López Mateos y San Fernando; al Oriente citamos las colonias La Raza, Doctores, Carboneras, Paseo de las Reinas, Manuel Ávila Camacho, 11 de Julio; por último, en la zona poniente están las colonias Abasolo, Punta Azul, Parque de Poblamiento y El Palmar. Es importante resaltar que debido a que en estos barrios y colonias se encuentra establecida población humilde, las aguas residuales generadas son en su gran mayoría solo de uso doméstico.

En este entendido, el estudio del comportamiento hidráulico en las redes de atarjeas de alcantarillado sanitario en barrios altos de la ciudad capital del Estado de Hidalgo, además de dar una idea de los problemas que puede ocasionar la instalación de tuberías en pendientes pronunciadas, permitirá tomar como referencia los resultados reflejados para la toma de decisiones en la elaboración de proyectos para poblaciones de escasos recursos.

Antecedentes

En Hidalgo el 13.64 % de la población está clasificada como indígena [1], la que se encuentra en condiciones precarias, es decir, con necesidades de contar con los servicios básicos. El análisis del comportamiento hidráulico, en sistemas de alcantarillado sanitario, sirve de parámetro para su aplicación en localidades con estas características que tienen un alto grado de marginalidad y con escasos ingresos económicos, en las

¹ Información obtenida del Censo INEGI 2010 [3].

Introducción

que se deben aprovechar al máximo los recursos de inversión que pueda aprobar el Estado y que cada vez son más escasos, además de asegurar la durabilidad requerida de los conductos.

El estudio de las velocidades que se generan por las pendientes mayores a las máximas permisibles en la instalación de los conductos, es de suma importancia, ya que debido a ello existe una reducción de la vida útil en las tuberías de concreto simple, producto de la erosión de las mismas, fenómeno que se puede reducir incluyendo estructuras de caída en los sistemas de drenaje, sin embargo, la construcción de estructuras de caída, además de encarecer notablemente las obras, propician la producción del gas hidrógeno sulfurado que destruye el concreto de los conductos y aumenta los olores desagradables de las aguas negras.

Es importante establecer condiciones que permitan, por un lado, generar bajos costos de construcción en los sistemas de drenaje, y por otro cumplir con la normatividad establecida en cuanto a velocidades generadas de conducción para evitar perjuicios en los conductos que se instalan. Es por esto que se requiere de un estudio de casos excepcionales de alcantarillado sanitario para el Estado de Hidalgo, específicamente para la ciudad de Pachuca de Soto, que es la que se tiene al alcance, aprovechando sus características topográficas que son similares a las de las zonas altas del Estado, donde se localizan las mayores poblaciones marginadas.

Justificación

El estudio del comportamiento real del agua residual en tramos considerados como casos excepcionales, construidos en la ciudad de Pachuca, servirán de apoyo para definir escenarios en casos similares, y permitirán establecer las ventajas y desventajas de instalar tuberías en pendientes mayores a las máximas permitidas en los conductos de concreto simple y conocer el grado de deterioro en las mismas causado por esta situación.

A través de los años se han analizado, de manera teórica, los casos excepcionales, sin embargo, no se ha presentado estudio alguno del comportamiento de las velocidades

Introducción

efectivas. Tal situación es digna de investigación, atendiendo la importancia que reviste el envejecimiento prematuro de los conductos y en consecuencia la erogación de recursos económicos debidos a la rehabilitación periódica de las redes por esta causa. Incluso, si los conductos son instalados respetando las pendientes naturales, se tendrá reducción de costos iniciales de obra (por ejemplo, menores profundidades de excavación). Adicionalmente, la situación económica hace tomar con seriedad este aspecto y conduce a innovar técnicas encaminadas a mejorar los procedimientos para el desarrollo de proyectos ejecutivos, que satisfagan las necesidades de la población, reduciendo costos de inversión, sin sacrificar el cumplimiento de las normas oficiales.

Más aún, una investigación de este tipo es importante porque nos permitirá mantener un entorno saludable que evite el incremento en la contaminación de mantos acuíferos.

Dicha exploración coadyuvará el planteamiento de mejoras en los futuros proyectos de alcantarillado sanitario, que, por las condiciones topográficas, obliguen a manejar las aguas provenientes de los diversos usos, bajo los criterios adecuados. Así, evitar la infiltración de agua contaminada proveniente de las redes de atarjeas en mal estado, favorecerá a la población y al municipio en términos administrativos y técnico-científicos.

Objetivo general

Estudiar el comportamiento del agua servida en los conductos en las redes de atarjeas, provenientes del uso doméstico (uso público urbano) de las colonias altas de la Ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo, en aquellos tramos considerados como casos excepcionales.

Objetivos particulares

- a) Identificar las diversas zonas de estudio que presenten las características idóneas para el análisis (al menos un caso por cada punto cardinal).
- b) Asistir a Dependencias Oficiales como la CAASIM (Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales), CONAGUA (Comisión Nacional del Agua), CEAA (Comisión Estatal del Agua) y Presidencia Municipal de

Introducción

Pachuca, con el propósito de recabar información existente que pueda ser de utilidad.

- c) Evaluación de información recabada, estableciendo los parámetros a considerar, dirigidos a la obtención de resultados.
- d) Evaluación de resultados.
- e) Formulación de conclusiones.
- f) Dar a conocer los resultados obtenidos a las Dependencias Oficiales, para su utilización.

Hipótesis

En todo proyecto de alcantarillado sanitario es de suma importancia revisar que los diseños sean acordes con los requerimientos específicos del lugar en estudio, por ello es conveniente presentar las soluciones técnico-económico-sociales más factibles.

A partir del estudio del comportamiento hidráulico del agua residual en las redes de atarjeas en algunas zonas altas de la ciudad de Pachuca, es posible detectar y revelar si se están acatando las normas establecidas por las Dependencias Federales.

Asimismo se pretende determinar si, al menos desde un punto de vista teórico, la velocidad efectiva del flujo en el alcantarillado sanitario con pendientes mayores a la máxima permisible por la norma, en zonas rurales rebasa o no el valor máximo permitido por la norma, que es de 3 m/s. Esto es importante bajo la consideración que el alcantarillado sanitario en estas zonas lleva prácticamente solo residuos de aguas de uso doméstico.

Así, en el Capítulo 1 de la tesis se presentan los fundamentos teóricos de casos excepcionales de alcantarillado sanitario. Asimismo, se realizan dos ejercicios (o casos críticos) en una comunidad ubicada en la sierra de la huasteca Hidalguense denominada “Xochititla”, perteneciente al municipio de Huejutla de Reyes, cuyos valores extremos (algunos son datos teóricos) nos servirán para determinar si la velocidad efectiva del flujo en el sistema de alcantarillado sanitario (que se calcula empleando la fórmula de Manning) en zonas rurales, para pendientes que rebasan la máxima permisible por la

Introducción

norma, está por encima de la velocidad permisible máxima o no (que es de 3 m/s) y entonces tomar las precauciones adecuadas. El primero de ellos se refiere a la mayor pendiente de todo el sistema. El segundo, es el tramo que llevará mayor cantidad de agua acumulada con pendiente mayor a la máxima permisible. Para ambos casos, se determina el gasto a tubo lleno que genera la pendiente del tramo de estudio.

En el Capítulo 2 se analizan y describen las características de Pachuca, que es la ciudad capital del Estado de Hidalgo y es también la zona de estudio. Específicamente, se mencionan particularidades como la población, localización geográfica, relieve, topografía, hidrología, clima, asentamientos, entre otras, que son de importancia para la realización de la tesis. Particularmente se delimitan las zonas de oportunidad que son el objeto de estudio del presente trabajo.

En el Capítulo 3 se integran tanto los estudios de campo realizados como los resultados obtenidos del análisis de casos excepcionales de alcantarillado sanitario, para tramos de redes de atarjeas en colonias de la ciudad de Pachuca de Soto en las que se cuenta con tubería de concreto simple, instalada en aquellas zonas con pendientes mayores a las máximas permisibles. Es importante recordar la importancia de tales estudios pues las condiciones de uso del mencionado alcantarillado pueden exceder los valores permisibles, lo cual puede desencadenar, a la larga, una serie de problemas que afecten a los habitantes de tales colonias. Como se menciona al inicio de la tesis, uno de los objetivos de este trabajo es buscar la prevención de los problemas que las condiciones naturales de uso de los casos excepcionales generan.

Al final se presentan las conclusiones más importantes que se desprenden del presente trabajo y se hacen algunas recomendaciones que se pueden considerar en la elaboración de proyectos futuros de este tipo.

Resumen

Para la introducción de un servicio de alcantarillado es necesario contar con información que nos permita efectuar un diseño adecuado de las redes de atarjeas, a fin de que cumpla por un lado con los objetivos para los cuales se construye, sujeta a la normatividad vigente y por otro lado satisfaga las necesidades para las que fue creado y al mínimo costo.

En contexto, la normatividad establece que cuando por necesidades propias del tipo de terreno, sea necesario conducir el agua residual fuera de los rangos de las pendientes ya establecidas, se podrán analizar como casos excepcionales. Para ello, será indispensable demostrar que la velocidad en el tramo con pendiente fuera de norma, rebasa o no la velocidad máxima establecida. El análisis de casos excepcionales, nos servirá de referencia para tomar decisiones importantes en el diseño de proyectos futuros, que nos lleven a reducir costos de inversión al disminuir caídas adosadas en nuestro sistema, alargar la vida útil de los conductos al evitar la formación de sulfuro de hidrógeno por la construcción de caídas, de modo que los recursos sobrantes se puedan utilizar en la ejecución de nuevas obras, con lo que se pretende existirán más beneficiarios atendidos.

Capítulo 1

Fundamento Teórico de Casos Excepcionales

Se presentan los componentes integrales de un sistema de alcantarillado y la forma de efectuar el cálculo de velocidades efectivas para deducir el comportamiento hidráulico de tramos con pendientes mayores a las máximas permisibles (casos excepcionales) establecidas en la normatividad vigente.

1.1 Componentes de un sistema de alcantarillado

Una red de alcantarillado sanitario se compone de varios elementos, tales como tuberías, conexiones, anillos y obras accesorias (descargas domiciliarias, pozos de visita, estructuras de caída, sifones y cruzamientos especiales). La expectativa de vida útil de los elementos que conforman una red de alcantarillado sanitario debe ser de al menos 50 años. Asimismo, todos los elementos que conforman la red de alcantarillado sanitario y su instalación, deben cumplir con la norma oficial mexicana NOM-001-CONAGUA-2011-Sistema de Alcantarillado Sanitario – Especificaciones de hermeticidad.

De este modo, cuando alguno de los elementos que conforma la red de alcantarillado sanitario carezca de norma mexicana para regular su calidad, se debe asegurar entonces que tales elementos cumplan con las especificaciones internacionales, o en su defecto, con las del país de origen (Art. 53 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización).

A continuación se presenta una descripción de cada uno de los componentes de una red de alcantarillado sanitario.

1.1.1 Tuberías

La tubería de alcantarillado se compone de tubos y conexiones acoplados mediante un sistema de unión hermético, el cual permite la conducción de las aguas residuales. En la selección del material de la tubería de alcantarillado intervienen diversas características tales como: resistencia mecánica, resistencia estructural del material, durabilidad, capacidad de conducción, características de los suelos y agua, economía, facilidad de manejo, colocación e instalación, flexibilidad en su diseño y facilidad de mantenimiento y reparación.

Las tuberías para alcantarillado sanitario se fabrican de diversos materiales, tales como: acero, concreto simple (CS) y concreto reforzado (CR), concreto reforzado con revestimiento interior (CRRI), políéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), Policloruro de vinilo (PVC) con pared sólida y estructurada, Fibrocemento (FC), Polietileno de alta densidad (PEAD) con pared sólida corrugada estructurada.

Para definir el tipo de tubería a utilizar en un proyecto de alcantarillado sanitario, se considera casi siempre primero el aspecto económico, es decir, el costo de ejecución de la obra. Por ejemplo, en el caso de localidades marginadas, se emplea, en lugar del material, la tubería más económica del mercado, que en este caso es la de concreto.

En la Secretaría de Obras Públicas del Gobierno del Estado de Hidalgo se han diseñado proyectos para poblaciones rurales por más de 20 años, observando que la tubería de concreto resulta ser la más viable desde el punto de vista económico, como se comentó en el párrafo anterior. Sin embargo, cabe señalar que se puede utilizar otro tipo de tubería, cuya elección dependerá de los requerimientos propios de la zona. Por ejemplo, si no se va a emplear tubería de concreto, se deben tomar en cuenta las características de calidad de las aguas por conducir, la topografía de la zona, entre otros aspectos.

1.1.2 Pozos de visita

Los pozos de visita son estructuras que permiten la inspección, ventilación y limpieza de la red de alcantarillado; se utilizan para la unión de dos o más tuberías, en toda cabeza de atarjea, en todos los cambios de diámetro, dirección, de material y pendiente, así

como para las ampliaciones o reparaciones de las tuberías incidentes (de diferente material o tecnología).

Estas estructuras forman parte de las obras accesorias de los sistemas de alcantarillado sanitario, pueden ser prefabricadas de PVC, de concreto reforzado y de policoncreto. Sin embargo, también se suelen emplear pozos construidos *in situ* (en sitio de obra). Pueden ser edificados de diversos materiales: los hay de tabique rojo recocido, de piedra, o incluso combinados de tabique rojo y concreto, serán aplanados en su interior y cuando existan niveles freáticos altos, el recubrimiento también se hará en el exterior. El cemento a utilizar en toda estructura que esté en contacto con las aguas residuales deberá ser resistente a los sulfatos, para alargar el periodo de vida de la estructura.

La altura de los pozos de visita depende de la topografía del sitio de estudio, pero para los casos en que se requiere de una ampliación, esta altura dependerá obviamente de la profundidad de instalación de obra existente; los construidos en obra se clasifican en:

- a) Pozos de visita tipo común.
- b) De tipo especial.
- c) De tipo caja.
- d) De tipo caja de deflexión.

En el caso de comunidades rurales, en donde la densidad de población es baja y los gastos generados son escasos, los pozos de visita a utilizar son el tipo común (caso a), ya que estos se construyen para diámetros de tubería entre 20 y 61 cm. En la Figura 1.1 se muestra una fotografía de uno de estos pozos.

Los pozos tipo especial, caja y caja de deflexión, se emplean cuando se tienen diámetros en los conductos desde 76 cm, por lo que su uso es habitual en zonas urbanas más que en rurales. En el anexo D se muestran los planos de construcción de estos tres tipos de pozo.



Fig. 1.1. Pozo de visita tipo común. Su utilización es en tuberías con diámetros entre 20 y 61 cm.

1.1.3 Descarga domiciliaria

La obra para la descarga domiciliaria, también llamada “albañal exterior”, es una tubería que permite el desalojo de las aguas servidas del registro domiciliario a la atarjea. El diámetro del albañal en la mayoría de los casos, es de 15 cm, siendo éste el mínimo recomendable, sin embargo, la dimensión puede variar en función de las disposiciones de las autoridades locales. La conexión entre albañal y atarjea debe ser hermética y la tubería de interconexión debe de tener una pendiente mínima del 1%. En caso de que el diámetro del albañal sea de 10 cm, se debe considerar una pendiente del 2%, garantizando que la conexión del albañal a la atarjea sea hermética [8].

Una de las condiciones establecidas en las normas [2] para el diseño de las redes de atarjeas, es que éstas cumplan con la profundidad suficiente para la interconexión de los albañales de las viviendas a beneficiar.

1.1.4 Planta de tratamiento

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes respectivos presentes en el

agua y que generalmente provienen del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso.

El nivel de tratamiento necesario de las aguas residuales deberá adecuarse a las normas técnicas ecológicas vigentes de acuerdo al estudio de impacto ambiental de la localidad [10].

Existen hoy en día diversos métodos de tratamiento de agua en los que se manejan procesos de altas tecnologías que se utilizan como plantas paquete y que son poco recomendables para su utilización en localidades rurales o marginadas.

1.1.5 Estructura de vertido

Es aquella obra final del sistema de alcantarillado sanitario que asegura una descarga continua a una corriente receptora. Tales estructuras pueden verter las aguas de emisores consistentes en conductos cerrados o de canales.

Para la disposición final o vertido de las aguas residuales se requiere de una estructura de descarga cuyas características dependen del lugar elegido para el vertido, del gasto de descarga, del tipo de emisor (tubería o canal), entre otros.

Siempre se debe procurar que las estructuras de descarga viertan las aguas a presión atmosférica y, en casos muy específicos, en forma sumergida puede hacerse a ríos, lagos, al mar, a pozos de absorción, a riego, etc.

En todos los casos, previo a la estructura de descarga, es obligatorio el tratamiento de las aguas residuales, aun cuando su construcción se programe en etapas posteriores.

El nivel de tratamiento necesario de las aguas residuales debe adecuarse a las normas técnicas ecológicas vigentes y de acuerdo al estudio de impacto ambiental de la localidad.

Para el diseño de la o las estructuras de descarga de un sistema de alcantarillado, se considera:

- ❖ La localización adecuada del sitio de vertido previo tratamiento, procurando que quede lo más alejado posible de la zona urbana, considerando las zonas de crecimiento futuro.
- ❖ La dirección de los vientos dominantes para la mejor ubicación de la planta de tratamiento.
- ❖ Para el caso de descarga en una corriente de agua superficial que fluctúe notablemente en su tirante, se puede diseñar una estructura con dos descargas a diferente nivel, una para escurrimiento en época de secas y otra para la época de avenidas.
- ❖ Se deben evitar los remansos en el emisor de descarga o asegurar que su funcionamiento sea adecuado en cualquier condición de operación.
- ❖ Protección a la desembocadura de la tubería en contracorrientes violentas, tráfico acuático, residuos flotantes, oleaje y otras causas que pudieran dañar la estructura de descarga, según las características del sitio de vertido.
- ❖ No se recomienda en general localizar vertidos en masas de agua en reposo, vasos de presas, lagos, estuarios o bahías pequeñas, aguas arriba de una cascada o de una caída de agua o en terrenos bajos que estén alternativamente expuestos a inundación y secado [4].

1.2 Diseño hidráulico

El diseño de una red de atarjeas debe apegarse a la topografía de la localidad a fin de evitar grandes profundidades que nos generen altos costos de inversión inicial, y de ser posible, seguir alguno de los modelos de configuración de red de atarjeas [4]. En estas condiciones se exige que la circulación del agua sea por gravedad, mientras que las tuberías deben seguir, en lo posible, la pendiente natural del terreno. En el caso de que existan en la localidad zonas sin drenaje natural, la circulación del agua en la red de atarjeas también deberá ser por gravedad; tendrá que recolectarse en un cárcamo de bombeo localizado en donde el colector tenga la cota de plantilla más baja, para después

enviarla mediante un emisor a presión, a zonas de la red de atarjeas o colectores que drenen naturalmente.

El encauzamiento de aguas residuales evidencia la importancia de aplicar lineamientos técnicos que permitan elaborar proyectos de evacuación de aguas residuales económicos, eficientes y seguros, tal que satisfagan las necesidades de una población.

Para el buen desarrollo de un proyecto de alcantarillado sanitario, es conveniente considerar los aspectos que se describen en las siguientes subsecciones de la tesis.

1.2.1 Planeación general

El primer paso para la implementación de una red de alcantarillado sanitario consiste en realizar la planeación general del proyecto, definiendo las mejores rutas de trazo de los colectores, interceptores y emisores, considerando la conveniencia técnico-económica de contar con uno o varios sitios de vertido, con sus correspondientes plantas de tratamiento, siendo lo más recomendable el tener solo una descarga. Con base en los costos aproximados de ejecución, el producto del desarrollo de las alternativas de proyecto, deberá evaluarse el nivel de rentabilidad de cada una de ellas, seleccionando la que resulte técnica y económicamente más rentable.

La circulación del agua en la red de atarjeas, colectores e interceptores debe ser por gravedad, sin presión, como se mencionó en la sección anterior. En caso que existan en la localidad zonas con topografía plana, o tramos que tienen contrapendiente, la circulación en los colectores e interceptores también deberá ser por gravedad y conducirla hasta los sitios más bajos desde donde podrá colectarse para su conducción posterior a un nivel en el que pueda seguir su curso por pendiente natural.

En esta etapa del proyecto es necesario calcular, de forma general, los gastos de proyecto de la red de alcantarillado, así como contar con una visión general del drenaje que tiene el área de proyecto, basándose en el plano topográfico.

No menos importante resulta ser el localizar zonas de crecimiento futuro y la propuesta de desalojo de las aguas futuras, para asegurar que los asentamientos posteriores no tengan problema de interconexión a la red existente.

1.2.2 Fórmulas para el diseño

En las tuberías de una red de atarjeas solo debe presentarse la condición de flujo a superficie libre. Para simplificar el diseño, se consideran condiciones de flujo establecido.

La Ec. (1.1) expresa la relación funcional de continuidad para un volumen de escurrimiento continuo permanente, o gasto Q , expresado en m^3/s , en términos de la velocidad de flujo, V , cuyas unidades son m/s y el área transversal de la tubería, A , ocupada por el flujo circulante, que habitualmente se maneja en m^2 :

$$Q = (V)(A). \quad (1.1)$$

Para el cálculo hidráulico del alcantarillado se utiliza la fórmula de Manning, dado por la siguiente expresión:

$$V = \frac{1}{n} r_h^{2/3} S^{1/2}. \quad (1.2)$$

En la ecuación anterior V es la velocidad del flujo r_h es el radio hidráulico, expresado en m , S es la pendiente del gradiente hidráulico de la tubería, y que es una cantidad adimensional, n que es el coeficiente de fricción del material con que se construye. Vale la pena resaltar que el coeficiente de fricción representa las características internas de la superficie de la tubería, por lo que su valor depende del tipo de material, calidad del acabado, el estado de conservación de la tubería y del diámetro de la misma. El radio hidráulico, en términos del perímetro mojado, P_m , cuyas unidades en el Sistema Internacional de unidades son los metros, y del área transversal del flujo, en m^2 , se calcula con la siguiente ecuación [9]:

$$r_h = \frac{A}{P_m}. \quad (1.3)$$

En la Tabla 1.1 se presentan los valores de n que pueden ser empleados en la fórmula de Manning, dependiendo del material empleado en la tubería del alcantarillado.

| Coeficientes de fricción (n) de Manning [$m^{-2/3} s$] | | | |
|--|---------------------------|--------|----------|
| Materiales de la tubería | Nomenclatura de Diámetros | | |
| | *(8) | ** (9) | *** (11) |
| Concreto | 0.012 | 0.012 | 0.012 |
| Concreto con revestimiento de PVC/PEAD | 0.009 | | |
| Acero soldado con recubrimiento interior (pinturas). | 0.011 | 0.011 | 0.011 |
| Acero sin revestimiento | 0.014 | 0.014 | 0.014 |
| Fibrocemento | 0.010 | | 0.010 |
| Polietileno de pared sólida | 0.009 | | |
| Polietileno corrugado /estructurado | 0.012 | | |
| PVC pared sólida | 0.009 | 0.009 | 0.009 |
| PVC pared corrugado/estructurado | 0.009 | | |
| Poliéster reforzado con fibra de vidrio | 0.009 | | |

Tabla 1.1. Coeficientes de fricción de Manning, evaluados por diversas instancias, para distintos materiales.

Es menester reconocer a las diferentes instancias que miden el coeficiente de fricción de Manning que se presentan en la tabla anterior: en la columna *(8) los datos presentados son determinados por la CONAGUA, 1994; en ** (9) los datos son medidos por una comisión del D. F., 1997, mientras que *** (11) se refiere a la información que la Facultad de Ingeniería de la UNAM, 1978, presentó.

1.2.3 Variables de diseño

Para el análisis específico de casos excepcionales, se hace referencia a las variables de velocidades mínimas y máximas establecidas, así como de las pendientes de instalación de las tuberías, que son fundamentales en el comportamiento hidráulico de los conductos; sin embargo el diámetro de tales conductos, que también juega un papel fundamental en los cálculos, depende de la capacidad requerida para desalojar los líquidos generados por determinada población.

1.2.3.1 Velocidades mínima y máxima

La velocidad mínima, V_{min} , es aquella con la cual no se presentan depósitos de sólidos suspendidos en las atarjeas que provoquen azolves y taponamientos; su valor es de 0.3 m/s bajo condiciones de gasto mínimo.

Para los cálculos de las velocidades máxima y mínima, adicionalmente debe asegurarse que el tirante correspondiente a esta velocidad tenga un valor mínimo de 1.0 cm en casos de pendientes máximas y de 1.5 cm en casos de pendientes mínimas.

La velocidad máxima, V_{max} , es el límite superior de diseño, con el cual se trata de evitar la erosión de las paredes de los conductos y estructuras, su valor es de 3.0 m/s. Para su revisión se utiliza el gasto máximo extraordinario [8].

1.2.3.2 Pendientes y diámetros

Las pendientes de las tuberías deberán seguir hasta donde sea posible, el perfil del terreno, con objeto de tener excavaciones mínimas, pero tomando en cuenta las restricciones de velocidad de la sección anterior. En los casos especiales en donde las pendientes de los terrenos sean muy grandes, es conveniente que para el diseño se consideren tuberías que permitan altas velocidades [9]. En general las pendientes se clasifican en casos normales y excepcionales. Cada uno de éstos tiene sus límites mínimo y máximo de velocidad permisible, bajo condiciones especiales de llenado, y sus respectivos límites se describen a continuación:

a) Casos normales

- ❖ Para gasto mínimo se acepta como pendiente mínima a aquella que produce una velocidad de 60 cm/s, bajo condición de trabajo llamada tubo lleno.
- ❖ Para gasto máximo se acepta como pendiente máxima a aquella que produce una velocidad máxima de 3.0 m/s, también a tubo lleno.

b) Casos excepcionales

- ❖ Para gasto mínimo: en el escurrimiento de gasto mínimo, la pendiente mínima de los conductos debe ser la que produce una velocidad de 30 cm/s, con un tirante igual o mayor de 1.5 cm, mientras que la pendiente máxima correspondiente es aquella que produzca, al citado gasto, una velocidad siempre menor de los 3.0 m/s, con un tirante igual o mayor a 1

cm, por lo cual solo podrá conducirse como máximo el gasto que escurra con esa pendiente a una velocidad máxima de 3.0 m/s.

- ❖ Para gasto máximo: Si el escurrimiento del gasto máximo que es necesario desalojar se verifica a tubo parcialmente lleno y no a tubo lleno, la pendiente máxima debe ser la que produzca una velocidad de 3.0 m/s.

El objeto de establecer límites para la pendiente es evitar, hasta donde sea posible, la construcción de estructuras de caída que además de encarecer notablemente las obras, propician la producción de gas hidrógeno sulfurado, que destruyen el concreto de los conductos y aumenta los malos olores de aguas negras [2], que es precisamente la motivación principal del presente trabajo.

Ahora bien, en sistemas de atarjeas se han establecido valores mínimos para los diámetros a utilizar con objeto de facilitar el mantenimiento de los conductos y a la vez evitar obstrucciones en las tuberías de drenaje y, que de acuerdo a norma correspondiente, debe ser de 20 cm. El máximo depende de las velocidades permisibles, de la capacidad de desalojo requerida y de las condiciones topográficas, aprovechando la capacidad hidráulica del tubo trabajando a superficie libre [4].

1.2.3.3 Gastos de diseño

Los diferentes gastos que se utilizan en el diseño de redes de alcantarillado sanitario son; medio diario, mínimo y máximo instantáneo. En el caso de zonas urbanas deberán tomarse en cuenta los datos estadísticos de la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. Si esta información no existe, los gastos correspondientes se deben calcular de la siguiente manera:

- ❖ Gasto medio diario ($Q_{med\ diario}$): Las unidades para expresarlo son l/s; incluye usos domésticos, comerciales e industriales, pues toma en cuenta tanto la aportación, A_p , medida en l/habitante/día, como a la población P del proyecto, cuya unidad es habitantes. Se calcula mediante la ecuación:

$$Q_{med\ diario} = \frac{A_p P}{86400}. \quad (1.4)$$

- ❖ Gasto mínimo (Q_{min}): Se toma como la mitad de $Q_{med\ diario}$, pero no deberá ser menor de 1.5 l/s. Esta consideración también es tomada en cuenta en nuestros cálculos. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_{min} = 0.5 Q_{med\ diario}. \quad (1.5)$$

- ❖ Gasto máximo instantáneo ($Q_{max\ inst}$): Tiene unidades de l/s. Se calcula afectando al gasto medio diario por un coeficiente de variación M denominado coeficiente de Harmon. Éste, al ser un coeficiente, no tiene unidades, es decir, es adimensional, y está dado por la siguiente ecuación:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}}, \quad (1.6)$$

En estas condiciones, el $Q_{max\ inst}$ está dado por:

$$Q_{max\ inst} = M Q_{med\ diario}, \quad (1.7)$$

- ❖ Gasto máximo extraordinario ($Q_{max\ ext}$): Al ser un gasto o flujo, tiene las mismas unidades que cualquiera de los gastos anteriormente definidos, por ejemplo, $Q_{max\ inst}$. considera el coeficiente de previsión o seguridad, (que es obviamente una cantidad adimensional), cuyo valor en este caso se considera de 1.5. Se calcula en función de $Q_{max\ inst}$ de acuerdo con la siguiente expresión:

$$Q_{max\ ext} = 1.5 Q_{max\ inst} \quad (1.8)$$

Finalmente, es necesario aclarar que este gasto máximo extraordinario será el parámetro a utilizar en los cálculos para el diseño de las conducciones [9].

1.2.4 Red de atarjeas

El diseño hidráulico de una red de atarjeas se realiza tramo por tramo, de aguas abajo hacia aguas arriba, iniciando en los entronques de los colectores existentes o bien a partir de la obra de vertido.

Para determinar los gastos de diseño de un tramo de la red en una zona urbana, se deben seguir los siguientes pasos:

- ❖ Obtener el área total de la zona de influencia del tramo que se analiza dividida en los diferentes usos del suelo que se presenten. En general, los usos del suelo se dividen en comercial, industrial, público y habitacional; este último también se diferencia en popular, medio y residencial.
- ❖ Para cada uno de los usos del suelo (descritos en el apartado anterior) se obtiene la densidad de proyecto y la dotación de agua potable. Estos datos se pueden obtener del proyecto de agua potable (en caso de que exista) o del estudio de factibilidad correspondiente.
- ❖ Para cada uno de los usos del suelo se obtienen los gastos de diseño, siguiendo el procedimiento descrito en la subsección 1.2.3.3.
- ❖ Los gastos de diseño estarán dados por la suma de los gastos de diseño de los diferentes usos de suelo del área de influencia y los propios del tramo que se analiza. Una vez calculados los gastos de diseño de la red de atarjeas, se selecciona el material, clase, diámetro, pendiente y elevaciones de plantilla de las tuberías, tramo por tramo, revisando el funcionamiento hidráulico del tramo bajo dos condiciones: a gasto mínimo y a gasto máximo extraordinario. En cualquiera de los casos, la selección del diámetro se hará aprovechando al máximo la capacidad hidráulica del tubo trabajando a superficie libre, no deberá ser menor al diámetro del tramo anterior y deberá satisfacer principalmente las velocidades límite enunciadas.

Para el cálculo de las variables hidráulicas permisibles a tubo lleno o a tubo parcialmente lleno, se emplean las fórmulas para el diseño de gastos y velocidad, descritas en la sección 1.2.2.

1.2.5 Ejemplo práctico de cálculo de casos excepcionales

En los ejemplos que se presentan a continuación, se analizan dos casos críticos de una red de atarjeas en una comunidad ubicada en la sierra de la huasteca Hidalguense denominada “Xochititla”, perteneciente al municipio de Huejutla de Reyes. Las costumbres de la comunidad son las propias de una población indígena, que tiene un alto grado de marginación, con recursos económicos escasos, en donde se analizan dos tramos diseñados con pendientes mayores a la máxima permisible.

El primero de ellos se refiere a la mayor pendiente de todo el sistema. El segundo, es el tramo que lleva la mayor cantidad de agua acumulada con pendiente mayor a la máxima permisible.

Para ambos casos, se determina el gasto a tubo lleno que genera la pendiente del tramo de estudio. Con el gasto máximo extraordinario del sistema se obtiene un gasto unitario, se calcula la longitud acumulada en el tramo que permitirá estimar la cantidad de agua que circula en el tramo. Con ayuda de la tabla presentada en el Anexo C, que establece valores de área, perímetro mojado y radio hidráulico, en conductos circulares parcialmente llenos, obteniendo valores que nos permiten calcular el radio hidráulico que servirá para determinar el valor de la velocidad efectiva en el tramo, aplicando la fórmula de Manning (Ec. 1.2)

A continuación se presentan los dos ejemplos mencionados de tramos que rebasan la pendiente máxima permisible (casos excepcionales) en los que se emplean datos teóricos con valores extremos (el primero con la mayor pendiente del sistema y el segundo con el tramo que contiene la mayor aportación de agua y que también presenta una pendiente mayor a la máxima permisible). La idea al final de estos dos ejemplos o casos prácticos es que coadyuven la verificación (demostración) de las condiciones extremas de flujo o de la velocidad efectiva que se obtiene en zonas rurales para cuando los tramos teóricos

que se proponen presentan condiciones de pendientes extremas, como se expuso al inicio de la presente sección:

i. CASO I

En la Tabla 1.2 se presentan las condiciones de este primer caso para determinar la velocidad efectiva del sistema de alcantarillado sanitario. Posteriormente se muestran los cálculos correspondientes para obtener el resultado buscado.

| No. | Descripción | Datos (se incluyen las unidades respectivas) |
|-----|--|--|
| 1 | Tramo: | 15 – 16 |
| 2 | Gasto máximo extraordinario del sistema ($Q_{max\ ext}$) | 2.27 lps* |
| 3 | Longitud total del sistema (l_{ts}) | 1 516.12 m |
| 4 | Pendiente en el tramo (S) | 489 al millar |
| 5 | Longitud acumulada en el tramo (l_{at}) | 343.43 m |
| 6 | Coefficiente de rugosidad del tubo de concreto (n) | $0.013\ m^{-1/3} \cdot s$ |
| 7 | Diámetro (D) utilizado (comercial) | 0.203 m |

*lps significa litro por segundo.

Tabla 1.2. Resumen con los datos a emplear en los cálculos del ejemplo práctico 1. Vale la pena resaltar que la longitud total en el tramo, l_{at} , tiene el valor de 343.43 m, que es la suma de la longitud tributaria en el tramo y la longitud propia del tramo, cuyos valores respectivos de estas dos últimas son 320.13 m y 23.30 m.

1) Calcular el gasto a tubo lleno con la expresión:

$$Q = \frac{0.3117}{n} d^{8/3} S^{1/2}, \quad (1.9)$$

Sustituyendo en la Ec. (1.9) los valores de n , d y S de la Tabla 1.2, se encuentra que el gasto a tubo lleno tiene el valor

$$Q = 0.23866\ m^3/s = 238.66\ lps. \quad (1.10)$$

2) Calcular el gasto que conduce el tramo, para lo cual aplicamos la expresión que determina el gasto unitario, q_u , dado por

$$q_u = \frac{Q_{max\ ext}}{l_{ts}}, \quad (1.11)$$

Capítulo 1

en donde l_{ts} es la longitud total del sistema. De la tabla anterior se tiene que los valores de l_{ts} y $Q_{max\ ext}$ son 1516.12 m y 2.27 lps, respectivamente. Sustituyendo estos datos en la Ec. (1.11) se obtiene que el gasto unitario tiene un valor de

$$q_u = 0.001497 \frac{\text{lps}}{\text{m}}. \quad (1.12)$$

En estas condiciones y en función de la longitud acumulada en el tramo (l_{at}), gasto que éste conduce está dado por la siguiente ecuación:

$$q_{tramo} = (q_u)(l_{at}). \quad (1.13)$$

Sustituyendo el valor de $l_{at} = 343.43$ m de la Tabla 1.2 y el valor de q_u calculado en la Ec. (1.12) se obtiene que

$$q_{tramo} = 0.514198 \text{ lps}. \quad (1.14)$$

- 3) Determinar la relación hidráulica de tirante-gasto que conduce el tramo. Para esto empleamos la siguiente ecuación:

$$\frac{d}{D} = \frac{\text{Gasto que conduce el tramo}}{\text{Gasto a tubo lleno}} = \frac{q_{tramo}}{Q}, \quad (1.15)$$

en donde Q está dado por la Ec. (1.9), cuyo valor obtenido al utilizar la información de la Tabla 1.2 se presenta en la Ec. (1.10). Utilizando el resultado de aplicar la Ec. (1.13) para determinar el flujo en el tramo, expresado en la Ec. (1.14), se obtiene que el resultado buscado:

$$\frac{d}{D} = \frac{0.514198 \text{ lps}}{238.66 \text{ lps}} = 0.00215. \quad (1.16)$$

- 4) Emplear la Tabla del Anexo C: Circulación de aguas en canales, para un valor mínimo de gasto que conduce el tramo, es decir, para un valor de $\frac{d}{D} = 0.01$ y su

correspondiente $\frac{r_h}{D} = 0.00660$, se encuentra que el valor del radio hidráulico correspondiente es:

$$r_h = 0.00660 D = 0.00660 (0.203 \text{ m}) = 0.00134 \text{ m} \quad (1.17)$$

- 5) Finalmente, con este valor calculado y empleando tanto los datos para la rugosidad del tubo de concreto como la pendiente del tramo, se determina la velocidad efectiva en el tramo mediante la fórmula de Manning (Ec. 1.2), con lo que se obtiene:

$$V = 0.6537 \text{ m/s.} \quad (1.18)$$

Este resultado demuestra que al menos en teoría, la velocidad efectiva no rebasa la máxima permisible por la norma correspondiente.

ii. CASO II

En la Tabla 1.3 se muestran las condiciones de este segundo caso extremo para determinar la velocidad efectiva del sistema de alcantarillado sanitario.

| No. | Descripción | Datos (se incluyen las unidades respectivas) |
|-----|--|--|
| 1 | Tramo: | PT-2 |
| 2 | Gasto máximo extraordinario del sistema ($Q_{max\ ext}$) | 2.27 lps* |
| 3 | Longitud total del sistema (l_{ts}) | 1 516.12 m |
| 4 | Pendiente en el tramo (S) | 93 al millar |
| 5 | Longitud acumulada en el tramo (l_{at}) | 1 516.12 m |
| 6 | Coefficiente de rugosidad del tubo de concreto (n) | 0.013 |
| 7 | Diámetro (D) utilizado (comercial) | 0.203 m |

Tabla 1.3. Resumen con los datos a emplear en los cálculos del ejemplo práctico 1.

Empleando la información de la Tabla 1.3 y procediendo exactamente de la misma manera que para el Ejemplo Práctico 1, se encuentra que para una pendiente de 93 al millar y una lacum tramo de 1 516.12 m, la velocidad efectiva correspondiente tiene un valor de

$$V = 0.45256 \text{ m/s.} \quad (1.19)$$

Capítulo 1

Análogamente al resultado del Ejemplo Práctico 1, este segundo ejemplo también demuestra que, al menos en teoría, la velocidad efectiva no rebasa la máxima permisible por la norma correspondiente.

Para concluir el capítulo, se nota que un resultado importante que se desprende de los cálculos anteriores es que aun si no se respeta la pendiente máxima permitida en la normatividad, los gastos que circulan en los conductos teóricamente no generan velocidades por encima de los límites establecidos, lo que se debe al escaso volumen que circula en éstos y que nos hace suponer que en zonas rurales están sobradas las capacidades de los conductos.

Capítulo 2

Características Generales del Área de Estudio

Se analizan y describen las características de Pachuca, que es la ciudad capital del Estado de Hidalgo, a la que se conoce con el nombre de La Bella Airosa, debido a las corrientes de aire que circulan de norte a sur la mayor parte del año. Específicamente, se mencionan particularidades como la población, localización geográfica, relieve, topografía, hidrología, clima, asentamientos, entre otras, que son de importancia para la realización de la tesis. Particularmente se delimitan las zonas de oportunidad que son el objeto de estudio del presente trabajo.

2.1 Generalidades

Pachuca de Soto es una ciudad mexicana, capital del Estado de Hidalgo. Fue fundada en 1438 por un grupo mexica. Tiene varios significados etimológicos, algunos dicen que viene de “Pachoa”, que significa estrechez o apertura, otros aseguran que procede de “Pachoacan” que quiere decir lugar de gobierno; otros afirman que es “Patlachiucan, concebido como lugar de fábricas y otros más aseguran que significa lugar de lágrimas. Otras fuentes aseveran que “Patlachi” es gobernar y “Can” lugar, por lo que quedaría como “Lugar en donde se ejercita la acción de gobernar”, de igual manera se le señala como “Lugar en plata y oro”. De lo anterior, se puede ver que existen diversas controversias en cuanto al verdadero significado del nombre de esta ciudad, sin

embargo, es conocida popularmente por los habitantes de la ciudad, y por el resto de los mexicanos, como La Bella Airosa o como La Novia del Viento, debido a los fuertes vientos que se filtran por las cañadas del norte.

En 1524, entre los primeros españoles que llegaron a la región, estuvieron Francisco Téllez y Gonzalo Rodríguez, llamándole al lugar “Real de Minas de Pachuca”. La ciudad formaba parte de uno de los centros mineros más importantes de la Nueva España, ya que es aquí en donde por primera vez se utilizó en método de amalgamación para la obtención de la plata, conocido como beneficio de patio.

En 1869, Benito Juárez crea el Estado de Hidalgo, designando como su capital a la ciudad de Pachuca.

La principal actividad en esa época era la minera, con la cual ingleses beneficiados con contratos de las compañías dedicadas a la extracción de metal, se instalaron por todo el país en donde había minas, y para divertirse en sus ratos libres jugaban futbol. Así que se organizaron y formaron un equipo al que llamaron “Pachuca Athletic Club”. Por tal situación, a la ciudad capital del Estado de Hidalgo también se le ha puesto el sobrenombre de “Pachuca, Cuna del Futbol”.

La ciudad capital del Estado, Pachuca, se identifica por un obelisco en el que se encuentra el reloj monumental, que puede apreciarse en la Fig.2.1. Este obelisco es en realidad una torre de 40 m de alto, construida en cantera blanca. La maquinaria del reloj es idéntica a la del Big Ben de Londres.

La idea de erigir esta obra surgió a raíz de la conmemoración de la Independencia, siendo inaugurado el 15 de septiembre de 1910, en donde se entonó por primera vez el Himno Nacional Mexicano, evento que se repite dos veces al día, los 365 días del año: a las 6:00 y 18:00 hr. Fue construido por los ingenieros Francisco Hernández y Luis Carreón, sobre un proyecto del arquitecto Tomás Cordero y Osio, destacado diseñador neoclásico que en esa época estaba en boga. El tiempo transcurrido desde que se planea

su construcción hasta que es concluido fue de 9 años. Se encuentra en la Plaza Independencia ubicada en pleno centro de la ciudad.



Fig.2.1. Reloj Monumental de Pachuca de Soto.

Está construido por tres niveles de cantera y un cuarto piso de cobre con ocho campanas que suenan en “Do mayor” cada 15 minutos.

2.1.1 Población

La ciudad de Pachuca de Soto al 2010, según el INEGI, contaba con una población total de 267 862 habitantes, de los cuales 127 236 son del sexo masculino y 140 626 son mujeres. Un porcentaje del 28 % de la población se encuentra entre 15 y 29 años, en contraste con un 8.9 % que es adulta mayor, es decir, con una edad igual o mayor a los 60 años. El número de viviendas es de 71 264, mientras que el promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas es de 3.7 personas. En la Tabla 2.1, se muestra la evolución poblacional que se ha presentado a través de los años, a partir de 1950 y hasta el año 2010.

| Evolución demográfica | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Censo | 1950 | 1960 | 1970 | 1980 | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 |
| Población | 64329 | 72072 | 91549 | 135248 | 180630 | 220488 | 245208 | 275578 | 267862 |

Tabla 2.1. Evolución demográfica de la ciudad capital del Estado de Hidalgo, en diferentes décadas.
Fuente: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/default.aspx>.

2.1.2. Localización Geográfica

La ciudad Capital del Estado de Hidalgo, está ubicada a 96 km al norte de la Ciudad de México, se sitúa a 213 km de Puebla de Zaragoza, a 499 Km de Acapulco y a 901 km de Monterrey. Cuenta con una superficie total de 195.30 km², lo que representa el 0.93 % del total de la superficie del Estado de Hidalgo. Se encuentra en la región geográfica del estado de Hidalgo denominada Comarca Minera.

Así, Pachuca de Soto se localiza en las coordenadas geográficas de latitud norte 20° 07' 21", de longitud oeste 98° 44' 09", con una altura de 2400 a 2800 msnm (msnm: metros sobre el nivel del mar). Sus colindancias son: al norte con los Municipios de Mineral del Chico y con Mineral del Monte, al sur con Zempoala y Zapotlán de Juárez; al este con Mineral de la Reforma y Epazoyucan y al oeste con San Agustín Tlaxiaca.

2.1.3 Relieve y Topografía

Tanto el relieve como la topografía de Pachuca son muy diverso, ya que existen desde llanos hasta prolongadas caídas, ubicándose en la provincia del Eje Neo Volcánico. Al norte hay zonas montañosas así como lomeríos en la parte noroeste-suroeste y llanuras que se extienden desde la porción central hacia el sur del municipio.

Entre los cerros que más destacan están el Cerro del Cuixi, siendo una pequeña elevación que se encuentra al noreste de la ciudad, y el Cerro de San Cristóbal, teniendo al sureste el Cerro de Cubitos.

De esta manera, se puede comprender fácilmente que Pachuca es entonces una ciudad con una topografía un tanto complicada, dado que se encuentra entre cerros, presentando

también zonas llanas. Esto implica un sistema complicado de carreteras y pavimentación de las mismas. Asimismo, el sistema de alcantarillado sanitario requiere, para su correcto funcionamiento, de estudios que incluyan el análisis y/o caracterización de aquellos lugares con pendientes fuera de lo común, los cuales se suelen etiquetar como casos excepcionales y que son precisamente el objeto de estudio de esta tesis, pues provocan flujos de agua que implican condiciones y consideraciones no habituales o muy distintas a las que comúnmente se emplean para zonas llanas o con pendientes no muy pronunciadas.

2.1.4 Hidrología

Pachuca de Soto se localiza dentro de la Región hidrológica del Río Pánuco, la cuenca del Río Moctezuma. Sin embargo, en general, carece de mantos acuáticos y lo más prevaeciente en la ciudad son las corrientes superficiales no continuas, debido a que las precipitaciones pluviales son escasas; a pesar de ello, se forman diversos cauces intermitentes que han sido aprovechados para drenar las aguas negras de los asentamientos, caso concreto: el Río de las Avenidas, que en los últimos años, las autoridades estatales se han preocupado por rescatar y permitir que solo se realice la conducción de aguas pluviales.



Por otra parte, se forman algunos cuerpos de agua de menor relevancia, los cuales son utilizados principalmente para actividades recreativas, y, en menor grado, para abastecimiento de agua potable.

2.1.5 Climatología de la Región

El clima de Pachuca es en general templado-frío, siendo la temperatura promedio anual de 12.5 °C; su precipitación pluvial oscila entre los 400 y 800 mm, teniendo una media anual de 513 mm. Las lluvias caen principalmente de Marzo a Septiembre, aunque frecuentemente la ciudad es afectada por frentes fríos y las tormentas tropicales que afectan al Golfo de México, debido a su cercanía con éste, lo cual ha modificado o recorrido la temporada de lluvias.

Capítulo 2

En la tabla 2.2 podemos observar los datos que se reportan por el INEGI, que utiliza como fuente al Servicio Meteorológico Nacional, para el periodo de 1951 a 2010 para Pachuca, en lo que a parámetros climáticos promedio se refiere.

|  Parámetros climáticos promedio de Pachuca (1951-2010)  | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Mes | Ene | Feb. | Mar | Abr. | May | Jun. | Jul. | Ago. | Sep. | Oct. | Nov. | Dic. | Anual |
| Temperatura máxima registrada (°C) | 35 | 29 | 28 | 40 | 32 | 33 | 27 | 27 | 27 | 27 | 26 | 25 | 40 |
| Temperatura diaria máxima (°C) | 20 | 20 | 23 | 25 | 24 | 22 | 21 | 21 | 20 | 20 | 20 | 19 | 21 |
| Temperatura diaria mínima (°C) | 4 | 6 | 8 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 | 8 | 6 | 5 | 7 |
| Temperatura mínima registrada (°C) | -6 | -5 | -0.8 | -2 | 3 | 0 | 2 | 3 | -1 | -3 | -3 | -7 | -7 |
| Precipitación total (mm) | 10 | 5 | 13 | 40 | 39 | 51 | 103 | 100 | 55 | 40 | 12 | 10 | 513 |

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (México).

Tabla 2.2. Clima promedio de la ciudad de Pachuca de Soto, en las diversas épocas del año, desde 1951 a 2010. Fuente: INEGI.

2.1.6 Riesgos y desastres naturales

La zona se encuentra enclavado en una zona con sismos poco frecuentes; el Terremoto de México de 1985, el Terremoto de Guerrero de 2011 y los Terremotos de Guerrero-Oaxaca de 2012 sólo tuvieron repercusiones leves en Pachuca. Del 17 al 21 de mayo de 2010, se presentaron 22 sismos en la región de Actopan, que se sintieron levemente en la ciudad de Pachuca.

La presencia del Río de las Avenidas al interior de la zona urbana, donde su cauce en algunos tramos es estrecho y en ciertas zonas donde por el crecimiento urbano la infraestructura de desalojo del agua es insuficiente, genera particularmente en época de lluvias, inundaciones en distintas zonas de la ciudad. El 24 de junio de 1949, ocurrieron intensas lluvias y granizadas, causando una gran inundación que sorprendió a los habitantes de Pachuca. El incidente ocurrió debido a una obstrucción que consistía en desperdicios y basura que crearon un dique, que al no soportar la presión de la avenida de las aguas, reventó y terminó inundando la ciudad.

El 31 de enero de 2011 se registró una granizada, alrededor de las 17:30 horas, que afectó colonias de Pachuca y Mineral de la Reforma; la capa de granizo alcanzó de 20 a 30 centímetros de altura. En Real del Monte nevó el 3 de enero del 2008 y las temperaturas descendieron tanto que llegaron hasta los -5°C , condiciones que afectaron a la ciudad. El 2 de marzo de 2013, se registró una temperatura de -3.5°C , en tanto que en Pachuca, Mineral de la Reforma y Real del Monte cayó agua nieve [13].

2.1.7 Contaminación

La explotación de los fondos mineros de Pachuca y Real del Monte generó durante 500 años más de ochenta millones de toneladas de lodos conocidos como jales. Estos han sido diseminados de manera inmediata en la mancha urbana; la presencia de metales pesados, como el mercurio y el cobre, reflejan la posible infiltración hacia los mantos acuíferos, originando por un lado su contaminación y por otro, algunas zonas el arrastre de partículas por medio del viento. Se ubican dos grandes extensiones de jales: una que

está detrás de Walmart, a un costado del Boulevard Nuevo Hidalgo y la otra que está en Mineral de la Reforma, a unos pasos del CEUNI. En estas zonas se construyeron viviendas, centros comerciales, la Terminal de Autobuses, la Central de Abasto y el Estadio Hidalgo.

En el Río de las Avenidas se cuenta con la existencia de un elevado grado de contaminación, ya que se encuentra conectado con los canales generados por descargas de tipo industrial y aguas negras de los asentamientos ubicados en los márgenes de los mismos, aunque a partir del 2013, con el revestimiento del río antes mencionado, las autoridades se han encargado de conducir el agua en forma separada.

La ciudad de Pachuca se mantiene por los 70 puntos del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECAS). Sin embargo, las mediciones respecto a la calidad del aire que se respira en la zona metropolitana de Pachuca varían debido a que los movimientos de los vientos no permiten mediciones exactas. Uno de los mayores problemas de contaminación ambiental en la ciudad lo constituye el abundante polvo. La cantidad de partículas suspendidas son provenientes de los jales mineros, así como de los cerros que rodean a la ciudad.

Por las mañanas una densa capa de smog se puede observar sobre la ciudad, particularmente entre semana. Las cargas contaminantes que se llegan a observar en algunas zonas se dispersan por la velocidad y dirección de los vientos característicos de Pachuca, a lo que contribuye la radiación solar. Asimismo, los cerros de Santa Apolonia, San Cristóbal y El Lobo, tienen tal disposición geográfica que permiten darle dirección a los vientos, evitando con esto la concentración de gases [13].

2.1.8 Dinámica poblacional

La ciudad de Pachuca el 10.05 % de la población total del Estado de Hidalgo (que como se mencionó en la subsección 2.1.1 es de 267 862). De acuerdo con la extensión territorial de Pachuca, se tiene entonces una densidad de población de 1738.2 habitantes/km².

De acuerdo a los resultados que presentó el Censo de Población y Vivienda 2010, la dimensión de la comunidad lingüística de Pachuca que hablan alguna lengua indígena es de 8101 personas, de las cuales 7473 hablan además castellano y solo 728 habla únicamente alguna lengua indígena. Los principales grupos étnicos de la región son las Nahuas (69.8 %) y Otomís (20.4 %).

También, según el censo de 2010, de los 267 862 habitantes, 76.6 % son personas originarias de la entidad, el resto son inmigrantes de otras entidades (20.9 %), del extranjero (0.5 %) y de lugares no especificados (2.0 %). Entre los estados de donde mayormente provienen los migrantes se encuentran: la Ciudad de México (44.4 %), el Estado de México (14.6 %), Veracruz (11.6 %), Puebla (8.6 %) y Michoacán (2.1 %). El resto es de diferentes lugares del país.

En 2010 se registró un índice de marginación de -1.77610 (muy bajo comparado con la década anterior). En el Padrón de Beneficiarios de la Secretaría de Desarrollo Social se contempla a cerca de 67 000 habitantes en 17 programas de la dependencia federal. Los principales programas de apoyo a la población son: Oportunidades, Hábitat, Programa de Empleo Temporal, Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias, 70 y más, Liconsa, Programa de Rescate de Espacios Públicos, entre otros; cerca del 22 % de la población se encuentra afiliada a uno de estos programas sociales [13].

2.1.9 Asentamientos

Pachuca de Soto ha presentado, en la última década, un crecimiento acelerado hacia la zona sur, en donde se han dado la mayor cantidad de asentamientos debido a que se tienen áreas disponibles para la creación de asentamientos y casas, en comparación con la zona centro, ya que esta última está sobrepoblada con nulos espacios para futuros asentamientos.

Un fenómeno que se ha observado es que existe inmigración, hacia la ciudad, de personas que provienen de municipios y poblaciones marginadas del Estado, que buscan mejores condiciones de vida a través de empleos remunerados. Estos habitantes buscan

áreas para establecerse que estén cercanas a sus centros de trabajo, con la finalidad de reducir costos de traslado; han encontrado opciones en lugares ubicados en las colonias altas de Pachuca, en donde es difícil el acceso de vehículos o bien no cuentan con todos los servicios, por lo que han encontrado terrenos con bajo costo.

De igual forma se tiene que el crecimiento de la mancha urbana es al Sur y al Oriente; sin embargo, los nuevos fraccionamientos creados ya pertenecen al Municipio de Mineral de la Reforma, pues el INEGI reporto en el año 2005 una tasa de crecimiento promedio anual, en la capital del Estado, del orden del 2.1 %, mientras que para este Municipio conurbado a Pachuca de Soto se reportó un tasa promedio anual de crecimiento³ del 9 %.

Con el pasar del tiempo, estos habitantes establecidos en las zonas altas de Pachuca han demandado servicios que, debido a la topografía abrupta, son difíciles de introducir, tal es el caso del agua potable y drenaje sanitario. Pero también existen actualmente en la zona lugares para el comercio pequeño que ayudan a descartar la posibilidad de asentamiento de fábricas o talleres, según los recorridos y reconocimiento efectuados del sitio, por lo que se estima que el agua residual generada es más de uso público urbano que industrial. Esto es importante porque sienta las bases y consideraciones básicas para la introducción de los diferentes servicios, particularmente el del alcantarillado sanitario, que es el tema de la tesis.

2.2 Zonas de Oportunidad

Observando las características de los asentamientos en las zonas altas de Pachuca, así como las pendientes naturales pronunciadas, se deriva que existen áreas de oportunidad

³ Zona metropolitana de Pachuca: Población, tasa de crecimiento, superficie y densidad media urbana, 1990-2005». *Consejo Estatal de Población de Hidalgo (COESPO)*. Consultado el 1 de junio de 2010.

para desarrollar un análisis de casos excepcionales. Estas zonas son propicias por lo accidentado del terreno, ya que los asentamientos humanos se ubican en un relieve clasificado como sierra y lomeríos, en donde se han instalado tuberías con pendientes pronunciadas que se aprovecharan para los fines que se persiguen. Así, en Pachuca, se pueden apreciar evidentes contrastes orográficos. En los cuatro puntos cardinales se encuentran lomeríos y zonas montañosas diversas con pendientes severas, cuyas inclinaciones agresivas, formadas por los diversos cerros, abrazan al centro de la población. En la siguiente figura se representa esquemáticamente el relieve de la zona norte de Pachuca.

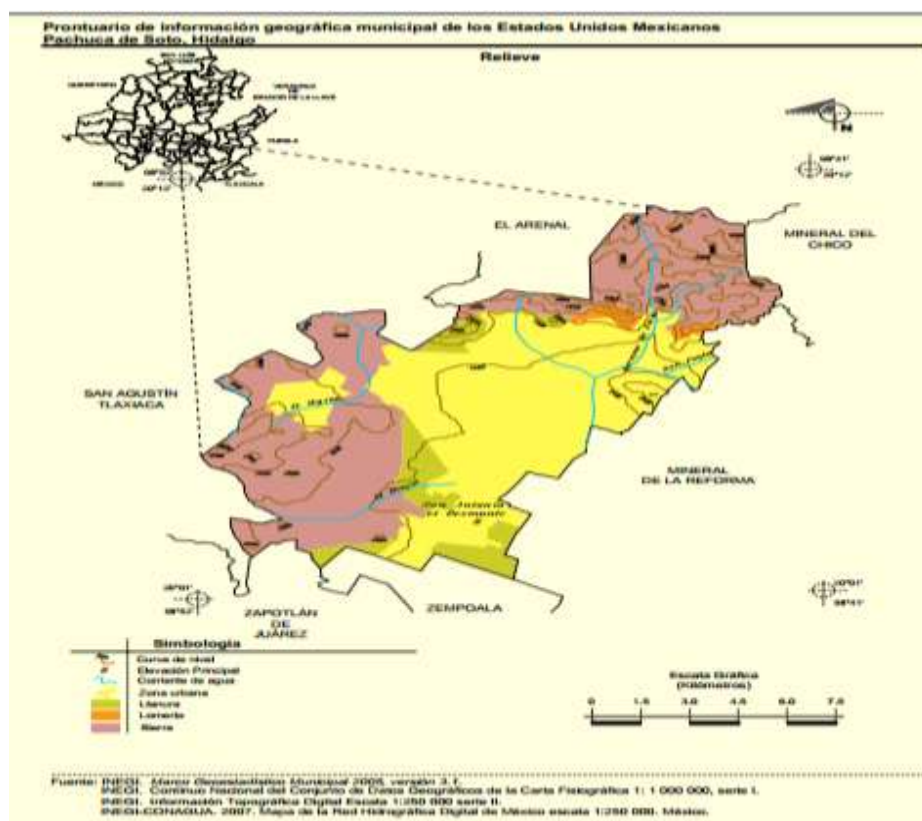


Fig. 2.2. Se presenta el relieve de Pachuca en la que se aprecian al norte las zonas comprendidas en “sierra”.

En general las principales zonas altas de Pachuca son un conjunto de cerros, los cuales se muestran en la Figura 2.3.



Fig.2.3. Principales cerros que definen el relieve de Pachuca. En a) se aprecia el cerro de San Cristóbal, mientras que en b) se presenta el cerro de Santa Apolonia, en c) se observa el cerro de El Lobo-Las Lajas y finalmente en d) se aprecia el cerro de Cubitos.

Los cerros más importantes que definen el relieve de Pachuca de Soto son, al norte, el de Santa Apolonia, que tiene una altura, en metros, sobre el nivel del mar (msnm) de aproximadamente 2600, al poniente, el de San Cristóbal, cuya elevación es del orden de los 2520 msnm, el de El Lobo-Las Lajas, cuya altitud es cercana a los 2600 msnm y al sur, el de Cubitos, cuya altitud, ligeramente menor que la anterior, es del orden de los

2575 msnm, generándose con esto el contraste con la elevación de la altura de Plaza Juárez (sitio en donde se ubica el Palacio de Gobierno) que tiene una elevación media de 2400 [13].

Para el estudio que se pretende, se han propuesto 4 zonas, de las cuales se considera una colonia y de éstas una calle. Las colonias elegidas son: El Mirador, ubicada al norte, en el cerro de Santa Apolonia, Adolfo López Mateos, localizada al sur en el Cerro de Cubitos, Manuel Ávila Camacho, cuyos asentamientos se localizan en el cerro que es conocido con el mismo nombre (al oriente de la ciudad) y al poniente, la colonia Abasolo, asentada en el cerro de San Cristóbal. La ubicación de éstas y otras zonas con casos excepcionales de alcantarillado sanitario se pueden apreciar en la Figura 2.4.

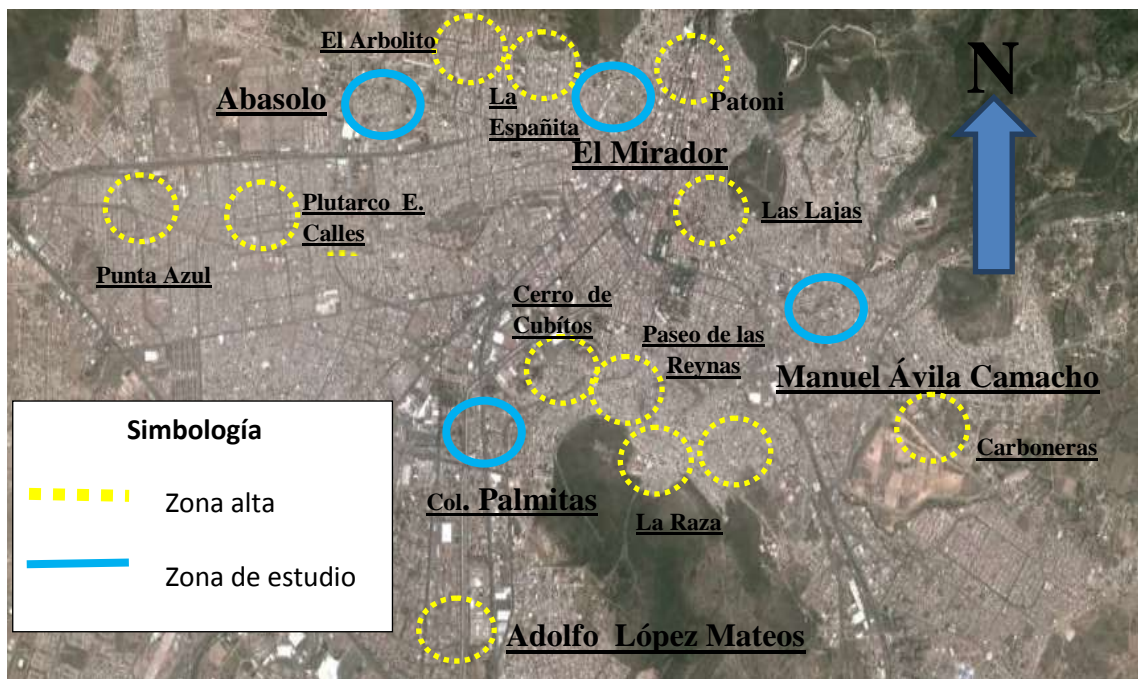


Figura 2.4. Localización geográfica de zonas altas de la ciudad de Pachuca de Soto. En azul se resaltan aquellas que se utilizan para el caso de estudio.

En estos cerros, indicados en la figura anterior, se ubican colonias que cuentan con calles pavimentadas, con asentamientos compactos en traza irregular, con servicios de energía eléctrica, agua potable, teléfono, transporte y alcantarillado sanitario. Sin embargo, en estas calles se pretende aplicar las técnicas y resultados que se obtendrán,

porque son también casos excepcionales de alcantarillado sanitario, debido a sus condiciones geográficas. Esto es una labor que se pretende realizar con el apoyo de las autoridades a las que compete.

Capítulo 3

Aplicación de Casos Excepcionales de Alcantarillado Sanitario en Zonas Altas de Pachuca de Soto

En este capítulo se integran tanto los estudios de campo realizados como los resultados obtenidos del análisis de casos excepcionales de alcantarillado sanitario, para tramos de redes de atarjeas en colonias de la ciudad de Pachuca de Soto en las que se cuenta con tubería de concreto simple, instalada en aquellas zonas con pendientes mayores a las máximas permisibles. Es importante recordar la importancia de tales estudios pues las condiciones de uso del mencionado alcantarillado pueden exceder los valores permisibles, lo cual puede desencadenar, a la larga, una serie de problemas que afecten a los habitantes de tales colonias. Como se menciona al inicio de la tesis, uno de los objetivos de este trabajo es buscar la prevención de los problemas que las condiciones naturales de uso de los casos excepcionales generan.

3.1 Delimitación de la zona de estudio

El estudio del comportamiento del agua residual en tramos considerados como casos excepcionales, construidos en la Ciudad de Pachuca, servirá de apoyo para definir escenarios en casos similares, por ejemplo en zonas marginadas, y permitirá establecer

las ventajas de instalar tuberías en pendientes mayores a las máximas permitidas en los conductos de concreto simple.

A través de los años se ha analizado de manera teórica los casos excepcionales, sin embargo, poco se han estudiado estos casos con relación al comportamiento de las velocidades efectivas de los flujos de agua. Tal situación es digna de disertación, dado que el envejecimiento prematuro de los conductos producido por altas velocidades efectivas, se puede traducir en la erogación de recursos económicos debido a la necesaria rehabilitación de las redes por esta causa. Otro aspecto de interés para realizar el estudio es determinar las velocidades efectivas que las pendientes pronunciadas producen. Si tales velocidades no rebasan los límites que las normas correspondientes establecen, podremos entonces manejar en el diseño las pendientes naturales, reduciendo con esto costos iniciales de obra, al manejar pendientes pronunciadas a menores profundidades de excavación.

No menos importante es cuidar nuestro entorno, pues de continuar contribuyendo al deterioro del medio ambiente, esto posiblemente traerá consecuencias de consideración, y en especial, la contaminación de mantos acuíferos, que terminará afectando la calidad de vida de los habitantes de Pachuca.

Por otra parte, la situación económica de Pachuca nos motiva a emplear técnicas innovadoras encaminadas a mejorar los procedimientos durante la elaboración de proyectos ejecutivos, de tal forma que satisfagan las necesidades de la población, reduciendo costos de inversión, sin sacrificar el cumplimiento de las normas oficiales.

En términos generales, la zona de estudio se elige en función de la topografía que prevalece y de las características de los habitantes asentados en la zona. Además, dado que en los recorridos efectuados no se detectó ni industria ni comercio grande y que en estos sitios las personas tienen costumbres propias de las zonas rurales, se asume que la descarga de las aguas residuales de estas viviendas únicamente contiene residuos de uso doméstico. Este planteamiento nos lleva a establecer que los conductos trabajarán con residuos contaminantes no ofensivos que contienen las aguas servidas provenientes del servicio público urbano.

Así, las calles seleccionadas de la ciudad capital del Estado para estudio son, como se mencionó en la sección 2.2: Rubí, San Felipe de las Torres, Doria y Quincuagésima Legislatura, de las colonias El Mirador, Palmitas, Abasolo y Manuel Ávila Camacho, respectivamente.

La selección de los sitios de estudio fue en base a las características topográficas (pendientes pronunciadas), al poco tránsito vehicular en la zona (originado por las altas pendientes), así como a las recomendaciones y disponibilidad de las autoridades Municipales. En estos sitios seleccionados se realizaron los trabajos de campo que se describen a continuación en la siguiente sección.

3.2 Trabajos de campo

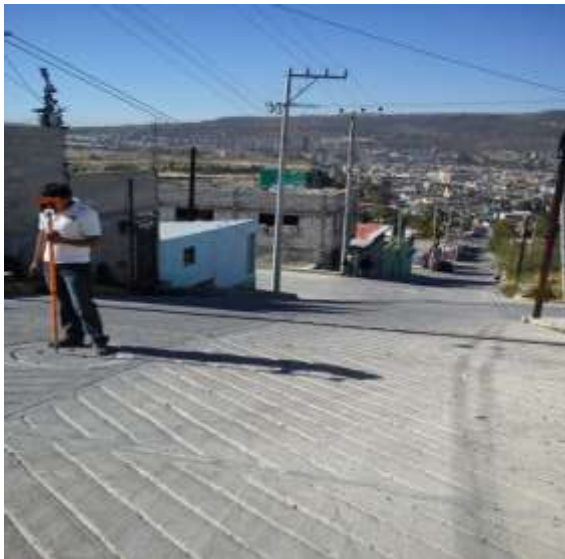
Se llevaron a cabo diversas actividades de campo para realizar el estudio que es el objeto de este trabajo, entre los que principalmente se encuentran:

- a) Topográficos: hubo la necesidad de conciliar los días de labor con la CAASIM, para garantizar la seguridad de los alumnos de la Carrera de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico de Pachuca, que brindaron su apoyo en el desarrollo de esta actividad. Se suspendió el tránsito en las calles de estudio en dos ocasiones, a las 7:00 y a las 13:00 hr, respectivamente, por un tiempo aproximado de una hora en cada ocasión, para la realización del citado estudio. Se realizó entonces el correspondiente levantamiento topográfico en los sitios de interés, con el apoyo de una estación total, obteniendo de cada punto coordenadas geográficas, tomando cotas de referencia arbitrarias y que en su momento se registraron. En la figura 3.1 se muestra una fotografía de uno de los momentos en que se realiza esta actividad. Se obtiene tanto la distancia entre tramos como la profundidad de los pozos de visita, información que es de vital importancia, pues con él podemos determinar la pendiente con la que fueron instalados, en su momento, los conductos, cuyo diámetro en todos los casos fue de 20 cm. Es importante resaltar que la clase de tubería empleada es concreto simple junteada.



Figura 3.1. Momento en que uno de los estudiantes en el proceso de toma de datos relacionado con el levantamiento topográfico.

- b) Algunas de las actividades complementarias de este proceso de medición se presentan en la Figura 3.2. Sin embargo, es importante en este momento mencionar que el estudio se realizó sobre obra construida, por lo que se omite el proceso constructivo de la misma. En la parte a) de ésta se aprecia que tan pronunciada es la pendiente de la calle Quincuagésima Legislatura de la colonia Manuel Ávila Camacho, que se encuentra en la zona oriente (en el cerro de San Cristóbal). En b) se observa a una parte de la brigada topográfica que desarrolló los trabajos y lecturas correspondientes, tomadas a las 7:00 hr., en la calle antes mencionada. En la parte c) de la misma figura se observa el momento en el que se efectúan los trabajos de topografía en la calle Rubí, de la colonia El Mirador, en la zona Norte (específicamente ubicada en el cerro de Santa Apolonia) en el mismo horario que en la parte b). Finalmente, en la parte d) se muestra el momento en que la brigada de topografía realiza los trabajos a las 13:00 hr., en donde se aprecia la pendiente pronunciada de la calle de Doria, ubicada en la colonia Abasolo, en el cerro de El Lobo-Las Lajas, en la zona poniente de la ciudad.



a)



b)



c)



d)

Figura 3.2. Trabajos de topografía efectuados en diversa calles de la ciudad de Pachuca de Soto.

- c) Mediciones de tirantes en cada pozo de visita: con el apoyo de una baliza (de madera) y un flexómetro se obtuvieron alturas de los tirantes que circulan en los tramos de estudio (que como se mencionó antes fueron elegidos previamente durante el recorrido de reconocimiento efectuado en diversas zonas de Pachuca). Estas lecturas se obtuvieron para cada tramo, el mismo día, en dos momentos

distintos. Los dos tiempos se definieron considerando las horas en que la mayoría de los habitantes utiliza agua y, en consecuencia, se tienen mayores aportaciones de aguas residuales en los conductos: las 7:00 y las 13:00 horas. En estos horarios, y dado que existen la mayor cantidad de agua en las tuberías de atarjeas, se pueden determinar las velocidades efectivas en los momentos más críticos. Se tomaron las lecturas de elevaciones, distancias, arrastres hidráulicos y alturas de tirantes en los conductos, haciendo los registros correspondientes, los cuales se plasmaron en la tabla 3.1, diseñada para el desarrollo del presente trabajo.

| Estado: Hidalgo | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|-------------------|------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|-----------------------------------|
| Ciudad: Pachuca de Soto | | | | | | | | |
| Colonia: | | | | | | | | |
| Calle: | | | | | | | | |
| Zona: | | | | | | | | |
| Tramo | Longitud (m) | Elevación terreno | No de pozo | Profundidad de pozo | Elevación del arrastre hidráulico | Tirante medido a las | | Pendiente en el tramo (al millar) |
| | | | | | | 7:00 hr | 13:00 hr | |

Tabla 3.1. Formato elaborado para el registro de los datos obtenidos en los levantamientos topográficos y medición de tirantes. Es importante resaltar que estas tablas pueden ser utilizadas en estudios futuros y/o aplicaciones.

3.3 Reportes de información

En esta sección, se incorporan los datos producto de las actividades de campo. Las lecturas tomadas y plasmadas en los reportes, se registraron por parte de la brigada en el momento oportuno, para cada calle.

Se utilizaron los formatos diseñados para el desarrollo de la responsabilidad encomendada y se anotaron los datos en una libreta de nivel, para la posterior configuración de los perfiles topográficos de las calles elegidas. Los alumnos participantes como parte esencial del desarrollo del trabajo de campo, verificaron sus datos en forma conjunta; para detectar posibles errores y tener la certeza en las lecturas emitidas.

Capítulo 3

Los reportes de los datos obtenidos en campo, durante la realización de los trabajos topográficos en las calles elegidas para el análisis que nos ocupa, son los correspondientes al llenado de la tabla 3.2. Estos antecedentes, servirán de base para obtener, con los datos de los tirantes medidos en los conductos, la velocidad de escurrimiento que se genera. Al obtener los resultados, se estará en posibilidad de emitir una opinión sobre el comportamiento del agua residual al ser transportada en conductos que se instalaron con pendientes agresivas.

Se presenta solo el reporte correspondiente a la calle Rubí de la colonia El Mirador, que se localiza en la zona norte de Pachuca. Los registros relativos a las zonas Sur, Oriente y Poniente se presentan en el anexo B: Reporte de resultados, al final de la Tesis.

| Estado: Hidalgo | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|-------------------|------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------|-----------------------------------|
| Ciudad: Pachuca de Soto | | | | | | | | |
| Colonia: El Mirador | | | | | | | | |
| Calle: Rubí | | | | | | | | |
| Zona: Norte | | | | | | | | |
| Tramo | Longitud (m) | Elevación terreno | No de pozo | Profundidad de pozo | Elevación del arrastre hidráulico | Tirante medido a las | | Pendiente en el tramo (al millar) |
| | | | | | | 7:00 hr. | 13:00 hr. | |
| | | 103.815 | 1 | 1.48 | 102.335 | 0.09 | 0.1 | |
| 1 a 2 | 36.23 | 94.861 | 2 | 1.5 | 93.361 | 0.08 | 0.08 | 248 |
| 2 a 3 | 20.86 | 89.344 | 3 | 1.57 | 87.774 | 0.03 | 0.05 | 268 |
| 3 a 4 | 32.56 | 82.091 | 4 | 1.4 | 80.691 | 0.05 | 0.06 | 218 |
| 4 a 5 | 19.07 | 82.089 | 5 | 1.58 | 80.509 | 0.04 | 0.05 | 10 |

Tabla 3.2. Reporte de los trabajos realizados al norte de la ciudad capital del Estado de Hidalgo, que corresponden a la calle Rubí, ubicada en la colonia El Mirador.

3.4. Resultados

Los resultados de los cálculos para determinar las velocidades efectivas de los casos bajo estudio se resumen en la tabla 3.3. Para esto se emplearon los datos de campo registrados en la Tabla 3.2 (y las que se presentan en el Anexo B).

A continuación también se explican y muestran de forma resumida los cálculos efectuados para el llenado de la Tabla 3.3.

| Resumen de Resultados | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|----------------|----------------|-----|-------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|----------------|--|
| Datos de cálculo | | | | | | | | | | | | | |
| $D = 0.203 \text{ m}$ | | | | | | | | | | | | | |
| $n = 0.013 \text{ m}^{-2/3} \text{ s}$ | | | | | | | | | | | | | |
| $d = \text{Tirante [m]}$ | | | | | | | | | | | | | |
| $d_1 = \text{Tirante 1 medido a las 7:00 hr}$ | | | | | | | | | | | | | |
| $d_2 = \text{Tirante 2 medido a las 13:00 hr}$ | | | | | | | | | | | | | |
| $S = \text{Pendiente en el tramo}$ | | | | | | | | | | | | | |
| $L = \text{Distancia entre tramos [m]}$ | | | | | | | | | | | | | |
| Tramo | L | D | | S | d/D | | Radio Hidráulico (de tabla VII) | | | | Velocidad efectiva | | |
| | | d ₁ | d ₂ | | d ₁ /D | d ₂ /D | r _{h1} /D | r _{h1} | r _{h2} /D | r _{h2} | V ₁ | V ₂ | |
| Rubí | | | | | | | | | | | | | |
| 1 a 2 | 36.230 | 0.080 | 0.080 | 248 | 0.394 | 0.394 | 0.210 | 0.043 | 0.210 | 0.043 | 1.165 | 1.165 | |
| 2 a 3 | 20.860 | 0.030 | 0.050 | 268 | 0.148 | 0.246 | 0.093 | 0.019 | 0.147 | 0.030 | 0.730 | 0.990 | |
| 3 a 4 | 32.560 | 0.050 | 0.060 | 218 | 0.246 | 0.296 | 0.147 | 0.030 | 0.171 | 0.035 | 0.805 | 0.892 | |
| 4 a 5 | 19.070 | 0.040 | 0.050 | 10 | 0.197 | 0.246 | 0.121 | 0.024 | 0.147 | 0.030 | 0.032 | 0.037 | |
| Adolfo López Mateos | | | | | | | | | | | | | |
| 1 a 2 | 21.780 | 0.120 | 0.130 | 171 | 0.591 | 0.640 | 0.275 | 0.056 | 0.286 | 0.058 | 0.961 | 0.986 | |
| 2 a 3 | 19.550 | 0.090 | 0.090 | 76 | 0.443 | 0.443 | 0.229 | 0.047 | 0.229 | 0.047 | 0.378 | 0.378 | |
| 3 a 4 | 21.360 | 0.100 | 0.110 | 186 | 0.493 | 0.542 | 0.247 | 0.050 | 0.262 | 0.053 | 0.972 | 1.012 | |
| 4 a 5 | 17.090 | 0.180 | 0.200 | 324 | 0.887 | 0.985 | 0.300 | 0.061 | 0.267 | 0.054 | 1.927 | 1.783 | |
| 5 a 6 | 16.820 | 0.080 | 0.100 | 295 | 0.394 | 0.493 | 0.210 | 0.043 | 0.247 | 0.050 | 1.385 | 1.542 | |
| Quincuagésima Legislatura | | | | | | | | | | | | | |
| 1 a 2 | 63 | 0.054 | 0.049 | 239 | 0.27 | 0.24 | 0.1566 | 0.032 | 0.1466 | 0.02976 | 0.9225 | 0.8828 | |
| 2 a 3 | 41 | 0.065 | 0.07 | 151 | 0.32 | 0.34 | 0.1801 | 0.037 | 0.1891 | 0.03839 | 0.6397 | 0.6609 | |
| 3 a 4 | 34 | 0.021 | 0.033 | 168 | 0.10 | 0.16 | 0.0635 | 0.013 | 0.0986 | 0.02002 | 0.3552 | 0.4763 | |
| Doria | | | | | | | | | | | | | |
| 1 a 2 | 22.240 | 0.040 | 0.050 | 340 | 0.197 | 0.246 | 0.121 | 0.024 | 0.147 | 0.030 | 1.103 | 1.256 | |
| 2 a 3 | 11.970 | 0.090 | 0.080 | 327 | 0.443 | 0.394 | 0.229 | 0.047 | 0.210 | 0.043 | 1.628 | 1.536 | |
| 3 a 4 | 8.940 | 0.050 | 0.040 | 387 | 0.246 | 0.197 | 0.147 | 0.030 | 0.121 | 0.024 | 1.429 | 1.255 | |

Tabla 3.3. Se presenta una hoja de cálculo en la que se incluyen, en las dos últimas columnas, las velocidades efectivas calculadas (para los dos distintos tiempos) del agua residual que circula en los tramos de referencia.

Como punto de partida, se consideran las distancias entre los tramos y elevaciones de terreno y de arrastres hidráulicos obtenidos en los trabajos de topografía desarrollados en los puntos de interés.

Con los arrastres hidráulicos y las distancias entre tramos se obtiene la pendiente de instalación de los conductos. De los tirantes medidos en el sitio se puede calcular el parámetro de la relación entre tirante/diámetro (d/D), cuyo diámetro de la red de atarjeas en todos los casos sondeados fue de 20 cm. Cabe señalar que la norma correspondiente establece que el diámetro de fabricación para esta clase de tubería es de 0.203 m [2].

Con el valor de la relación d/D y con ayuda de la Tabla del Anexo C: Circulación de agua en canales, obtenemos el valor correspondiente a la relación radio hidráulico/diámetro (r_h/D). Se despeja el radio hidráulico para sustituirlo en la Ecuación de Manning (Ec.1.2), obteniendo así la velocidad efectiva a la que se conduce el caudal en el tramo de referencia. Debido a que se tomaron dos lecturas de tirantes para cada tramo, se calcularon las velocidades efectivas de conducción en los tramos referidos, obteniéndose entonces dos datos para las velocidades, cada uno correspondiendo a cada tirante en el momento (hora) correspondiente. Estos resultados se presentan, para cada tramo, en las dos últimas columnas de la tabla anterior.

3.5 Interpretación de resultados

Al contar con referencias reales de las condiciones físicas actuales de las redes de atarjeas, construidas en zonas altas de Pachuca, se efectúan los cálculos correspondientes en donde se involucra la altura del agua residual, que se tiene de dos horarios diferentes.

La intención de medir los dos tirantes en el mismo lugar, fue la de contar con mayor información y garantizar que en los tiempos de mayor aportación de aguas residuales, se puedan obtener cálculos de las velocidades producidas

Del procesamiento de datos efectuado, los reportados en las dos últimas columnas de la tabla 3.3 corresponden al valor calculado de la velocidad efectiva que se indican como $V1$ y $V2$. La primera de ellas refleja el valor obtenido con el primer tirante (medido a las 7:00 hr) y el segundo se refiere al valor obtenido con el segundo tirante (medido a las 13:00 hr), para el mismo tramo.

Los resultados muestran que la velocidad efectiva que se genera en los conductos (con el gasto que se conduce en la tubería en cada uno de los tramos indicados) está por debajo

de la máxima establecida, que de acuerdo a la norma; especifica un valor máximo de 3 m/s [2].

Lo antes expuesto nos da la seguridad de que aun cuando se manejen pendientes de diseño en las redes de atarjeas mayores a máxima permisible, de acuerdo a la norma correspondiente, se espera un resultado de una velocidad menor a 3 m/s; claro está, siempre debe verificarse el resultado para garantizar que esta situación, en efecto prevalece.

La importancia de verificar el dato de la velocidad efectiva radica, por un lado, en hacer que la vida útil de los conductos sea mayor al no haber velocidades por arriba de 3 m/s, es decir, se evita la erosión temprana en los conductos³, lo que representa un ahorro, a corto plazo, en la operación de sistemas de drenaje. Por otro lado, se alarga la posibilidad de tener infiltración de aguas residuales a los mantos acuíferos, lo que provoca la contaminación de los mismos.

³ Las altas velocidades además de generar erosión debida a la fricción de la materia sólida que contiene el agua residual, con las paredes de los conductos, ocasionan que exista producción de gases nocivos para el concreto, estos gases son el resultado de la oxidación de materia orgánica.

Conclusiones

En esta parte de la Tesis se presentan las conclusiones principales del estudio de casos excepcionales de alcantarillado sanitario en Hidalgo, México, logrando tanto el objetivo general como los objetivos particulares propuestos al inicio de este trabajo. Asimismo, se verifica la hipótesis propuesta, concluyendo:

- Se determinan las velocidades efectivas de flujo sanitario en los tramos de estudio, encontrando que fueron menores que las máximas permitidas por la norma oficial vigente.
- Los resultados obtenidos nos dan la certeza de que no se rebasa el límite máximo de velocidad generada en los conductos que de acuerdo a la normatividad tiene un valor máximo de 3 m/s, en los tramos utilizados en éste análisis con las distancias y las pendientes indicadas. Al cumplir con el valor de este límite establecido se evita erosión o deterioro en los conductos. Aun cuando se manejan pendientes mayores a la máxima permisible (de 83 al millar para el diámetro de 20 cm), se demuestra que de acuerdo al tirante generado por el escurrimiento en el conducto; las velocidades generadas están por debajo de este valor.
- El estudio realizado en este trabajo sobre el comportamiento *in situ* del agua residual en tramos considerados como casos excepcionales, construidos en la

Conclusiones

Ciudad de Pachuca, de acuerdo con el apartado anterior, servirá de apoyo para definir escenarios en casos similares, y permitirá establecer las ventajas y desventajas de instalar tuberías de concreto simple en pendientes naturales mayores a las máximas permitidas en la normatividad correspondiente. Asimismo, se podrá tomar de parámetro para otro tipo de material considerando la modificación respectiva en el coeficiente de rugosidad de este nuevo material a emplear.

- Al verificar que los conductos cumplen con los parámetros de velocidades indicados, se garantiza el incremento en la vida útil de los mismos prolongando el tiempo en el que se requiera una rehabilitación del sistema que también representa un ahorro, ya que el envejecimiento prematuro de los conductos y en consecuencia la erogación de recursos económicos debidos a la rehabilitación de las redes por esta causa, no se presentará al menos a corto plazo.
- Cabe mencionar que la velocidad también se reduce con la adición de pozos de visita intermedios o con obras de caída en los sistemas de drenaje; sin embargo, la construcción de este tipo de estructuras, además de encarecer notablemente las obras, propician la producción del gas sulfuro de hidrógeno que destruye el concreto de los conductos y aumenta los olores desagradables de las aguas negras. Por lo tanto, al instalar tubería con pendientes naturales de terreno, se reducen considerablemente los volúmenes de excavación, que es el concepto de mayor impacto económico en la integración del presupuesto de las obras.
- Adicionalmente, considerando que en las poblaciones pequeñas (de alta marginalidad) los caudales de escurrimiento son escasos, resulta más conveniente instalar tuberías que generen mayores velocidades para evitar sedimentación de tierra, sólidos o arenas en las mismas, fenómeno que genera el problema de taponamientos.
- De acuerdo con lo anterior, se considera que los conductos no presentaran deterioros prematuros por trabajar a velocidades extremas, lo que ocasionaría un

riesgo directo para la preservación del medio ambiente, concretamente la contaminación de mantos acuíferos. Evitar la infiltración de agua contaminada proveniente de las redes de atarjeas en mal estado favorecerá a la población y al municipio en términos administrativos y técnico-científicos.

Del presente trabajo se desprenden las siguientes consideraciones para la realización de trabajos posteriores.

- La situación económica del país, y particularmente de Pachuca, hace tomar con seriedad los resultados de la investigación, motivándonos a innovar técnicas encaminadas a mejorar los procedimientos para el desarrollo de proyectos ejecutivos que satisfagan las necesidades de la población, principalmente reduciendo costos de inversión, sin sacrificar el cumplimiento de las normas oficiales.
- Lo anterior dará la oportunidad en el desarrollo de proyectos ejecutivos para el Estado, de que se tomen decisiones con mayor claridad al proponer rangos de instalación en los conductos con mayor inclinación, sin descuidar la variable de la velocidad efectiva en la conducción, considerando las condiciones económicas de las comunidades (principalmente las de alta marginalidad), en las que el costo-beneficio por la introducción del servicio de alcantarillado sanitario es elevado, es decir, estas comunidades podrán cumplir entonces con los criterios de elegibilidad, con lo que se podrán realizar obras de alcantarillado, incrementando la cobertura en el servicio y por ende aumentaría el número de beneficiarios atendidos.
- Finalmente, los resultados obtenidos en el análisis del comportamiento efectivo del agua residual en los conductos parcialmente llenos de casos excepcionales, sienta las bases y sirve de referencia para las futuras generaciones de ingenieros, investigadores e incluso dependencias gubernamentales involucradas en la elaboración, revisión y construcción de proyectos de sistemas de alcantarillado sanitario.

Bibliografía

- 1.- Gordon, M. F., Geyer, J. C., Ukun, D. A. Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales. México D. F.: Editorial: Ediciones Ciencia y Técnica, 1990.
- 2.- Normas de Proyecto para Obras de Alcantarillado Sanitario en Localidades Urbanas de la República Mexicana. México, D.F.: Editorial UNAM, emitidas por la Subdirección de Proyectos. Oficina de Normas y Desarrollo de Tecnología, 1979.
- 3.- <http://www.censo2010.mx>. (2010). Inegicenso2010preliminares/censo y conteos de población. México D.F.
- 4.- CONAGUA. Sistema de Alcantarillado Sanitario. México D.F.: Emisión de la Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, 2000.
- 5.- Sotelo, A. G. Hidráulica de Canales. México D.F.: Departamento de Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, 2008.
- 6.- Instituto Nacional de Estadística e Informática. *Censo de Población 2005*. México, D.F.: INEGI, 2005.
- 7.- Fair, A. L., Geyer, J. C., Ukun, D. A. Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales, México D.F.: Editorial Limusa, 1983.
- 8.- CONAGUA. Lineamientos Técnicos para la Elaboración de Estudios y Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario. México D.F.: Emisión de la Gerencia de Ingeniería Básica y Normas Técnicas, 1994.
- 9.- Gobierno del Distrito Federal. Normas Técnicas Complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas. México D.F.: Emisión del Departamento del Distrito Federal, 1997.
- 10.- http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales. (2013). México D.F

Bibliografía

- 11.- Normas de Proyecto para aprovisionamiento de agua potable en Localidades Urbanas de la República Mexicana. México, D.F.: Editorial UNAM, emitidas por la Subdirección de Proyectos. Oficina de Normas y Desarrollo de Tecnología, 1978.
- 12.- Trueba, C. S. Hidráulica. México D.F.: Editorial Trillas, 1990.
- 13.- http://es.wikipedia.org/wiki/Pachuca_de_Soto.

ANEXO A: Glosario.

Aguas residuales domésticas.- Son aquellas provenientes de inodoros, regaderas, lavaderos, cocinas y otros elementos domésticos. Estas aguas están compuestas por sólidos suspendidos (generalmente materia orgánica biodegradable), sólidos sedimentables (principalmente materia inorgánica), nutrientes, (nitrógeno y fosforo) y organismos patógenos.

Albañal interior.- Es la tubería que recoge las aguas residuales de una edificación y termina generalmente en un registro.

Alcantarillado sanitario.- Un sistema de alcantarillado consiste en una serie de tuberías y obras complementarias, necesarias para recibir, conducir, ventilar y evacuar las aguas residuales de la población. De no existir estas redes de recolección de agua, se pondría en grave peligro la salud de las personas debido al riesgo de enfermedades epidemiológicas y, además, se causarían importantes pérdidas materiales.

Atarjea.- Es la tubería que recoge las aguas residuales de las descargas domiciliarias o albañal exterior para entregarlas al colector por medio de un pozo.

Brocal.- Dispositivo sobre el que se asienta una tapa, que permite el acceso y cierre de un pozo de visita en su parte superior o a nivel de piso, el cual se apoya por fuera de la boca de acceso del pozo de visita.

Cabeza de atarjea.- Extremo inicial de una atarjea.

Colector.- Es la tubería que recoge las aguas residuales de las atarjeas. Puede terminar en un interceptor, en un emisor o en la planta de tratamiento.

Concreto reforzado.- Se compone de un aglutinante, Cemento, agua, y agregados (arena y grava) para formar una masa semejante a una roca una vez que la mezcla ha fraguado, debido a la reacción química entre el cemento y el agua, con material de refuerzo, normalmente acero de alta resistencia, para mejorar la resistencia de los elementos fabricados con estos materiales.

Concreto simple.- Se compone de un aglutinante, Cemento y agua, y agregados (arena y grava) para formar una masa semejante a una roca una vez que la mezcla ha fraguado, debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

Contaminación de un cuerpo de agua.- Introducción o emisión en el agua, de organismos patógenos o sustancias tóxicas, que demeriten la calidad del cuerpo de agua.

Descarga domiciliaria o albañal exterior.- Instalación que conecta el último registro de una edificación (albañal interior) a la atarjea o colector.

Emisor.- Es el conducto que recibe las aguas de un colector o de un interceptor. No recibe ninguna aportación adicional en su trayecto y su función es conducir las aguas negras a la caja de entrada de la planta de tratamiento. También se le denomina emisor al conducto que lleva las aguas tratadas (efluente) de la caja de salida de la planta de tratamiento al sitio de descarga.

Estructuras de caída escalonada.- Son estructuras con caída escalonada cuya variación es de 50 en 50 cm hasta 2.50 m como máximo; están provistas de una chimenea a la entrada de la tubería con mayor elevación de plantilla y otra a la salida de la tubería con la menor elevación de plantilla. Se emplean en tuberías con diámetros de 0.91 a 3.05 m.

Flujo por gravedad.- Movimiento de un flujo debido una diferencia de altura.

Pozos con caída adosada.- Son pozos de visita comunes, especiales o pozos caja a los cuales lateralmente se les construye una estructura que permite la caída en tuberías de 20 y 25 cm de diámetro con un desnivel hasta de 2.00 m.

Pozos con caída.- Son pozos constituidos también por una caja y una chimenea a los cuales, en su interior se les construye una pantalla que funciona como deflector del caudal que cae. Se construyen para tuberías de 30 a 76 cm de diámetro y con un desnivel hasta de 1.50 m.

Tapa.- Dispositivo que asienta sobre el brocal Tratamiento.- Es la remoción en las aguas residuales, por métodos físicos, químicos y biológicos de materias en suspensión, coloidal y disuelta.

Tubería rígida.- Se considera tubería rígida aquella que no admite deflexión sin sufrir daño en su estructura. Materiales de las tuberías rígidas: concreto, fibrocemento, hierro fundido y barro.

Uso Público Urbano.- Se entiende por “Uso público- urbano” a la aplicación del agua nacional para centros de población y asentamientos humanos a través de la red municipal, lo cual implica que ésta se utiliza en hogares, industrias y servicios propios del municipio, mismo que ocupa el segundo lugar en la cadena de importancia para suministro u orden de prelación de agua definido en la Ley de Aguas Nacionales (CNA, 2004a).

Vida útil.- Tiempo en el cual los elementos de un sistema operan económicamente bajo las condiciones originales del proyecto aprobado y de su entorno (8).

ANEXO B: Reporte de resultados.

| Estado: Hidalgo | | | | | | | | |
|--|--------------|-------------------|------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|-----------------------------------|
| Ciudad: Pachuca de Soto | | | | | | | | |
| Colonia: Palmitas | | | | | | | | |
| Calle: San Felipe de las Torres | | | | | | | | |
| Zona: Sur | | | | | | | | |
| Tramo | Longitud (m) | Elevación terreno | No de pozo | Profundidad de pozo | Elevación del arrastre hidráulico | Tirante medido a las | | Pendiente en el tramo (al millar) |
| | | | | | | 7:00 hr | 13:00 hr | |
| | | 115.543 | 1 | 1.55 | 113.993 | 0.15 | 0.17 | |
| 1 a 2 | 21.78 | 111.078 | 2 | 0.82 | 110.258 | 0.12 | 0.13 | 171 |
| 2 a 3 | 19.55 | 109.969 | 3 | 1.2 | 108.769 | 0.09 | 0.09 | 76 |
| 3 a 4 | 21.36 | 106.229 | 4 | 1.44 | 104.789 | 0.1 | 0.11 | 186 |
| 4 a 5 | 17.09 | 100.884 | 5 | 1.63 | 99.254 | 0.18 | 0.2 | 324 |

Tabla B.1. Reporte de los trabajos realizados en la calle San Felipe de las Torres, Col. Palmitas.

| Estado: Hidalgo | | | | | | | | |
|---|--------------|-------------------|------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|-----------------------------------|
| Ciudad: Pachuca de Soto | | | | | | | | |
| Colonia: Manuel Ávila Camacho | | | | | | | | |
| Calle: Quincuagésima Legislatura | | | | | | | | |
| Zona: Oriente | | | | | | | | |
| Tramo | Longitud (m) | Elevación terreno | No de pozo | Profundidad de pozo | Elevación del arrastre hidráulico | Tirante medido a las | | Pendiente en el tramo (al millar) |
| | | | | | | 7:00 hr | 13:00 hr | |
| | | 102.67 | 1 | 1.86 | 100.81 | 0.068 | 0.072 | |
| 1 a 2 | 63 | 87.56 | 2 | 1.78 | 85.78 | 0.054 | 0.049 | 239 |
| 2 a 3 | 41 | 81.14 | 3 | 1.56 | 79.58 | 0.065 | 0.07 | 151 |
| 3 a 4 | 34 | 75.23 | 4 | 1.35 | 73.88 | 0.021 | 0.033 | 168 |

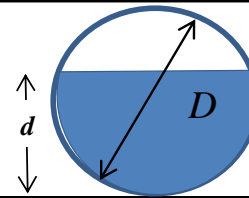
Tabla B.2. Reporte de los trabajos de la calle Quincuagésima Legislatura, Col. Manuel Ávila Camacho.

| Estado: Hidalgo | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|-------------------|------------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------|-----------------------------------|
| Ciudad: Pachuca de Soto | | | | | | | | |
| Colonia: Abasolo | | | | | | | | |
| Calle: Doria | | | | | | | | |
| Zona: Poniente | | | | | | | | |
| Tramo | Longitud (m) | Elevación terreno | No de pozo | Profundidad de pozo | Elevación del arrastre hidráulico | Tirante medido a las | | Pendiente en el tramo (al millar) |
| | | | | | | 7:00 hr. | 13:00 hr. | |
| | | 121.251 | 1 | 1.33 | 119.921 | 0.05 | 0.064 | |
| 1 a 2 | 22.24 | 113.415 | 2 | 1.05 | 112.365 | 0.04 | 0.05 | 340 |
| 2 a 3 | 11.97 | 109.476 | 3 | 1.02 | 108.456 | 0.09 | 0.08 | 327 |
| 3 a 4 | 8.94 | 105.936 | 4 | 0.94 | 104.996 | 0.05 | 0.04 | 387 |

Tabla 3.6: Reporte de los trabajos realizados en la calle Doria, Col. Abasolo.

ANEXO C: Circulación de agua en canales.

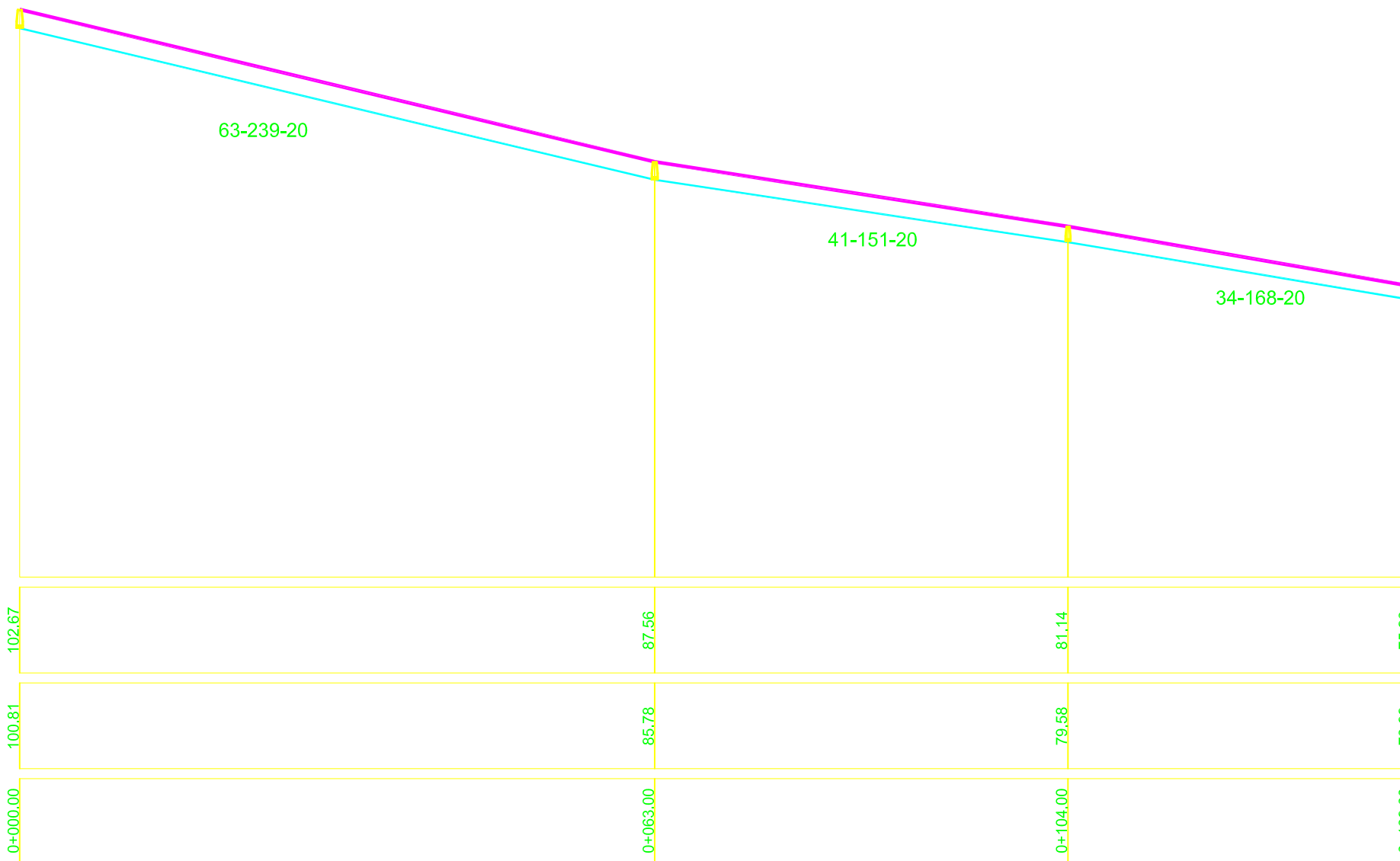
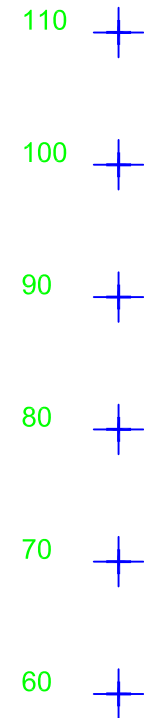
| CIRCULACION DE AGUA EN CANALES | | | | | | | |
|--|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|
| AREA, PERIMETRO MOJADO Y RADIO HIDRAULICO EN CONDUCTOS CIRCULARES PARCIALMENTE LLENOS. | | | | | | | |
| $\frac{d}{D}$ | $\frac{A}{D^2}$ | $\frac{P}{D}$ | $\frac{r_h}{D}$ | $\frac{d}{D}$ | $\frac{A}{D^2}$ | $\frac{P}{D}$ | $\frac{r_h}{D}$ |
| 0.01 | 0.0013 | 0.2003 | 0.0066 | 0.51 | 0.4027 | 1.5908 | 0.2531 |
| 0.02 | 0.0037 | 0.2838 | 0.0132 | 0.52 | 0.4127 | 1.6108 | 0.2561 |
| 0.03 | 0.0069 | 0.3482 | 0.0197 | 0.53 | 0.4227 | 1.6308 | 0.2591 |
| 0.04 | 0.0105 | 0.4027 | 0.0262 | 0.54 | 0.4327 | 1.6509 | 0.2620 |
| 0.05 | 0.0147 | 0.4510 | 0.0326 | 0.55 | 0.4426 | 1.6710 | 0.2649 |
| 0.06 | 0.0192 | 0.4949 | 0.0389 | 0.56 | 0.4526 | 1.6911 | 0.2676 |
| 0.07 | 0.0242 | 0.5355 | 0.0451 | 0.57 | 0.4625 | 1.7113 | 0.2703 |
| 0.08 | 0.0294 | 0.5735 | 0.0513 | 0.58 | 0.4723 | 1.7315 | 0.2728 |
| 0.09 | 0.0350 | 0.6094 | 0.0574 | 0.59 | 0.4822 | 1.7518 | 0.2753 |
| 0.1 | 0.0409 | 0.6135 | 0.0635 | 0.6 | 0.4920 | 1.7722 | 0.2776 |
| 0.11 | 0.0470 | 0.6761 | 0.0695 | 0.61 | 0.5018 | 1.7926 | 0.2797 |
| 0.12 | 0.0534 | 0.7075 | 0.0754 | 0.62 | 0.5115 | 1.8132 | 0.2818 |
| 0.13 | 0.0600 | 0.7377 | 0.0813 | 0.63 | 0.5212 | 1.8338 | 0.2839 |
| 0.14 | 0.0668 | 0.7670 | 0.0871 | 0.64 | 0.5308 | 1.8546 | 0.2860 |
| 0.15 | 0.0739 | 0.7954 | 0.0929 | 0.65 | 0.5404 | 1.8755 | 0.2881 |
| 0.16 | 0.0811 | 0.8230 | 0.0986 | 0.66 | 0.5499 | 1.8965 | 0.2899 |
| 0.17 | 0.0885 | 0.8500 | 0.1042 | 0.67 | 0.5594 | 1.9177 | 0.2917 |
| 0.18 | 0.0961 | 0.8763 | 0.1097 | 0.68 | 0.5687 | 1.9391 | 0.2935 |
| 0.19 | 0.1039 | 0.9020 | 0.1152 | 0.69 | 0.578 | 1.9606 | 0.2950 |
| 0.2 | 0.1118 | 0.9273 | 0.1206 | 0.7 | 0.5872 | 1.9823 | 0.2962 |
| 0.21 | 0.1199 | 0.9521 | 0.1259 | 0.71 | 0.5964 | 2.0042 | 0.2973 |
| 0.22 | 0.1281 | 0.9764 | 0.1312 | 0.72 | 0.6054 | 2.0264 | 0.2984 |
| 0.23 | 0.1365 | 1.0003 | 0.1364 | 0.73 | 0.6143 | 2.0488 | 0.2995 |
| 0.24 | 0.1449 | 1.0239 | 0.1416 | 0.74 | 0.6231 | 2.0714 | 0.3006 |
| 0.25 | 0.1535 | 1.0472 | 0.1466 | 0.75 | 0.6318 | 2.0944 | 0.3017 |
| 0.26 | 0.1623 | 1.0701 | 0.1516 | 0.76 | 0.6404 | 2.1176 | 0.3025 |
| 0.27 | 0.1711 | 1.0928 | 0.1566 | 0.77 | 0.6489 | 2.1412 | 0.3032 |
| 0.28 | 0.1800 | 1.1152 | 0.1644 | 0.78 | 0.6573 | 2.1652 | 0.3037 |
| 0.29 | 0.1890 | 1.1373 | 0.1662 | 0.79 | 0.6655 | 2.1895 | 0.3040 |
| 0.3 | 0.1982 | 1.1593 | 0.1709 | 0.8 | 0.6736 | 2.2143 | 0.3042 |
| 0.31 | 0.2074 | 1.181 | 0.1755 | 0.81 | 0.6815 | 2.2395 | 0.3044 |
| 0.32 | 0.2167 | 1.2025 | 0.1801 | 0.82 | 0.6893 | 2.2653 | 0.3043 |
| 0.33 | 0.2260 | 1.2239 | 0.1848 | 0.83 | 0.6969 | 2.2916 | 0.3041 |
| 0.34 | 0.2355 | 1.2451 | 0.1891 | 0.84 | 0.7043 | 2.3186 | 0.3038 |
| 0.35 | 0.2450 | 1.2661 | 0.1935 | 0.85 | 0.7115 | 2.3462 | 0.3033 |
| 0.36 | 0.2546 | 1.2870 | 0.1978 | 0.86 | 0.7186 | 2.3746 | 0.3026 |
| 0.37 | 0.2642 | 1.3078 | 0.2020 | 0.87 | 0.7254 | 2.4038 | 0.3017 |
| 0.38 | 0.2739 | 1.3284 | 0.2061 | 0.88 | 0.7320 | 2.4341 | 0.3008 |
| 0.39 | 0.2836 | 1.3490 | 0.2102 | 0.89 | 0.7384 | 2.4655 | 0.2996 |
| 0.4 | 0.2934 | 1.3694 | 0.2142 | 0.9 | 0.7445 | 2.4981 | 0.2980 |
| 0.41 | 0.3032 | 1.3898 | 0.2181 | 0.91 | 0.7504 | 2.5322 | 0.2963 |
| 0.42 | 0.313 | 1.4101 | 0.222 | 0.92 | 0.7560 | 2.5681 | 0.2944 |
| 0.43 | 0.3229 | 1.4303 | 0.2257 | 0.93 | 0.7642 | 2.6021 | 0.2922 |
| 0.44 | 0.3328 | 1.4505 | 0.2294 | 0.94 | 0.7662 | 2.6467 | 0.2896 |
| 0.45 | 0.3428 | 1.4706 | 0.2331 | 0.95 | 0.7707 | 2.6906 | 0.2864 |
| 0.46 | 0.3527 | 1.4907 | 0.2366 | 0.96 | 0.7749 | 2.7389 | 0.283 |
| 0.47 | 0.3627 | 1.5108 | 0.2400 | 0.97 | 0.7785 | 2.7934 | 0.2787 |
| 0.48 | 0.3727 | 1.5308 | 0.2434 | 0.98 | 0.7816 | 2.8578 | 0.2735 |
| 0.49 | 0.3827 | 1.5508 | 0.2467 | 0.99 | 0.7841 | 2.9412 | 0.2665 |
| 0.5 | 0.3927 | 1.5708 | 0.2500 | 1.00 | 0.7854 | 3.1416 | 0.250 |



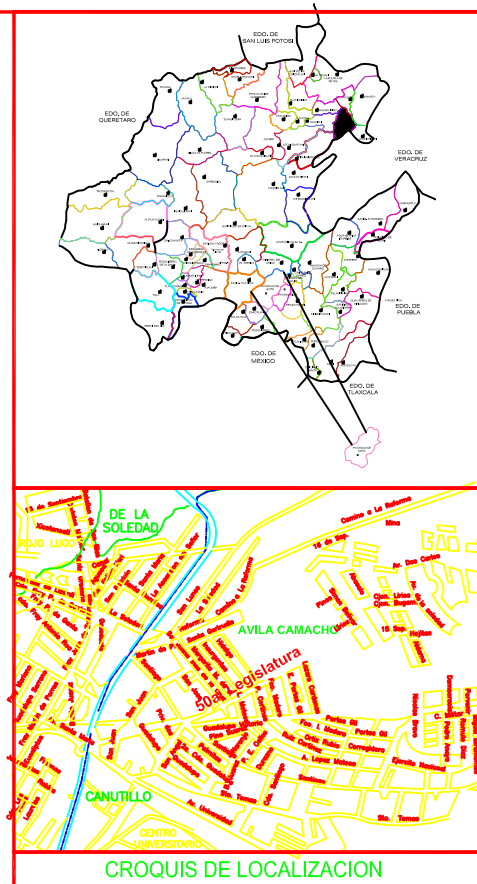
Fuente: Trueba C. Samuel. (1990). *Hidráulica*. México, D. F. Editorial Trillas.

ANEXO D: Planos de Pozos de Visita y Topográficos

ELEVACIONES EN METROS



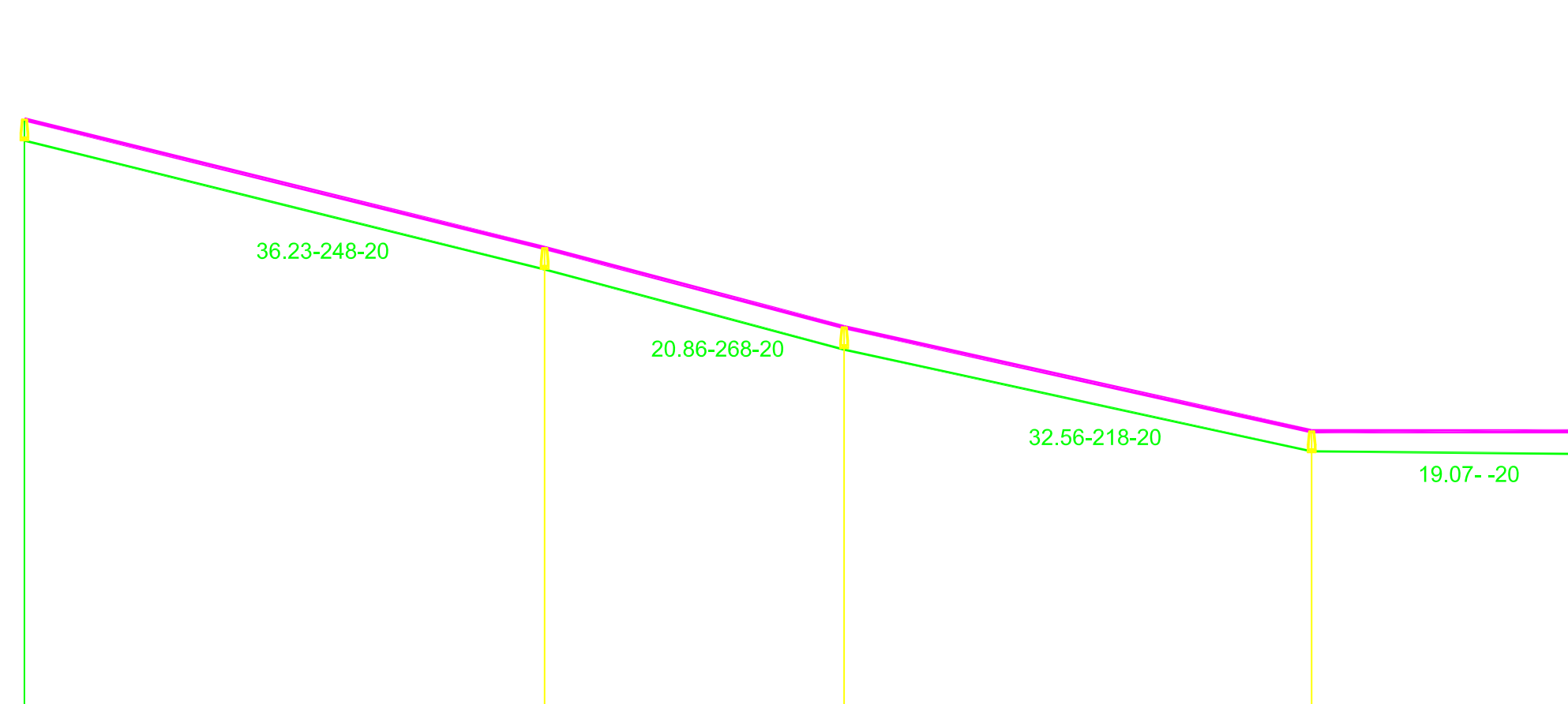
ESC. = HOR. = 1: 500
VER. = 1: 500



CROQUIS DE LOCALIZACION

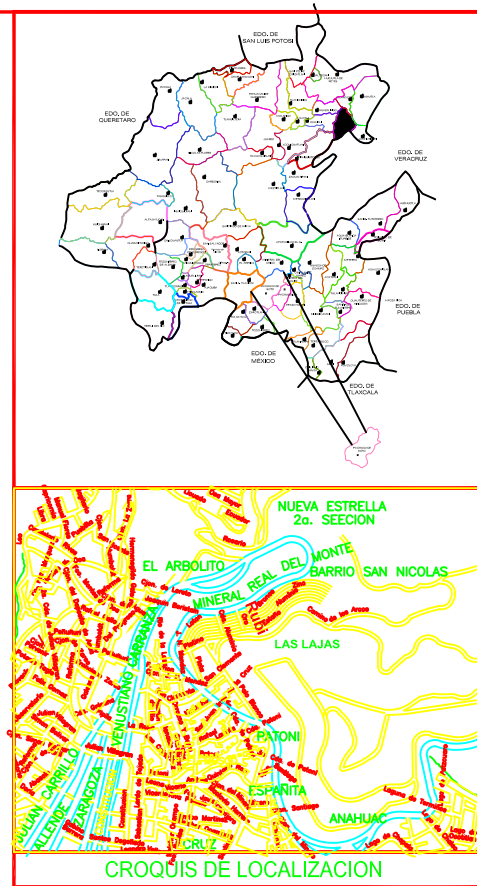
| | | | |
|---|------------------------|---------------------------|-----------------|
| PROYECTO: | | | |
| CASOS EXCEPCIONALES DE ALCANTARILLADO SANITARIO | | | |
| CONTENIDO: | | | |
| PERFIL DEL ARRASTRE HIDRAULICO | | | |
| LOCALIZACION: | | | PLANO: |
| CALLE QUINCUAGESIMA LEGISLATURA COLONIA MANUEL AVILA CAMACHO PACHUCA, HGO. | | | PERF -01 |
| | | | 1 de 1 |
| ESCALA: | DIBUJO: | FECHA: | CLAVE: |
| Indicadas | Ing. Mónica R. Vázquez | Abril del 2014 | 01 |
| LEVANTO: | | APROBO: | |
| Ing. Monica Rocio Vazquez Rojas | | Doc. Enrique Montiel Piña | |

ELEVACIONES EN METROS



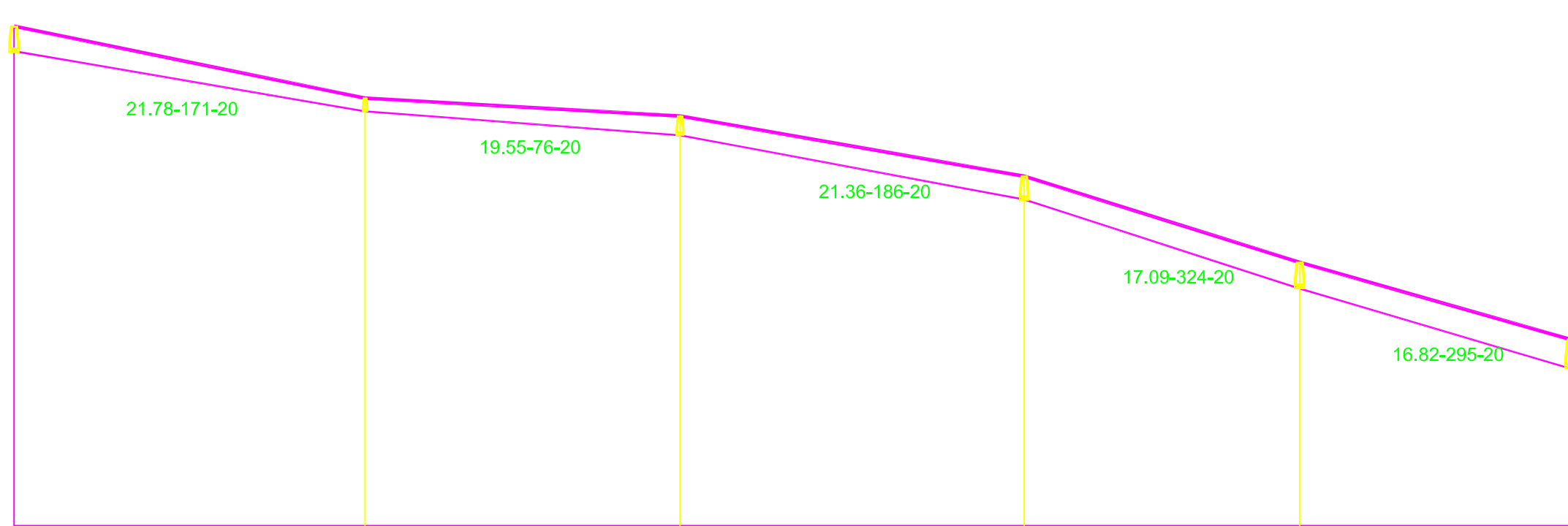
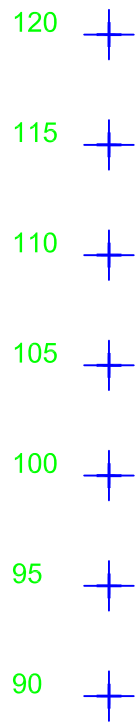
| | | | | | |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| COTA DE TERRENO | 103.815 | 94.861 | 89.344 | 82.091 | 82.089 |
| COTA DE ARRASTRE HIDRAULICO | 102.335 | 93.361 | 87.774 | 80.691 | 80.509 |
| DISTANCIA AL ORIGEN | 0+000.00 | 0+036.23 | 0+057.09 | 0+089.65 | 0+108.72 |

ESC. = HOR. = 1: 400
VER. = 1: 400



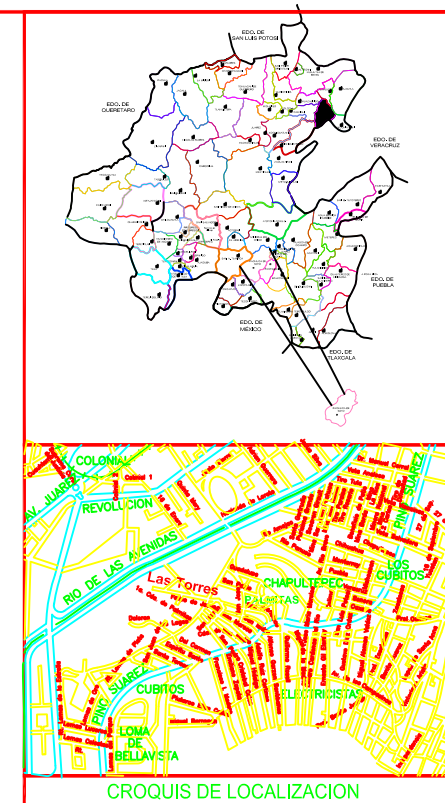
| | | | |
|---|-----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| PROYECTO: CASOS EXCEPCIONALES DE ALCANTARILLADO SANITARIO | | | |
| CONTENIDO: PERFIL DEL ARRASTRE HIDRAULICO | | | |
| LOCALIZACION: CALLE RUBI COLONIA EL MIRADOR PACHUCA, HGO. | | | PLANO: PERF -02 |
| 1 de 1 | | | |
| ESCALA: Indicadas | DIBUJO: Ing. M. R. V. R. | FECHA: Abril del 2014 | CLAVE: 02 |
| LEVANTO: Ing. Monica Rocío Vazquez Rojas | | APROBO: Doc. Enrique Montiel Piña | |

ELEVACIONES EN METROS



| | | | | | | |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| COTA DE TERRENO | 115.543 | 111.078 | 109.969 | 106.229 | 100.884 | 96.097 |
| COTA DE ARRASTRE HIDRAULICO | 113.993 | 110.258 | 108.769 | 104.789 | 99.254 | 94.287 |
| DISTANCIA AL ORIGEN | 0+000.00 | 0+021.78 | 0+041.33 | 0+062.69 | 0+079.78 | 0+096.60 |

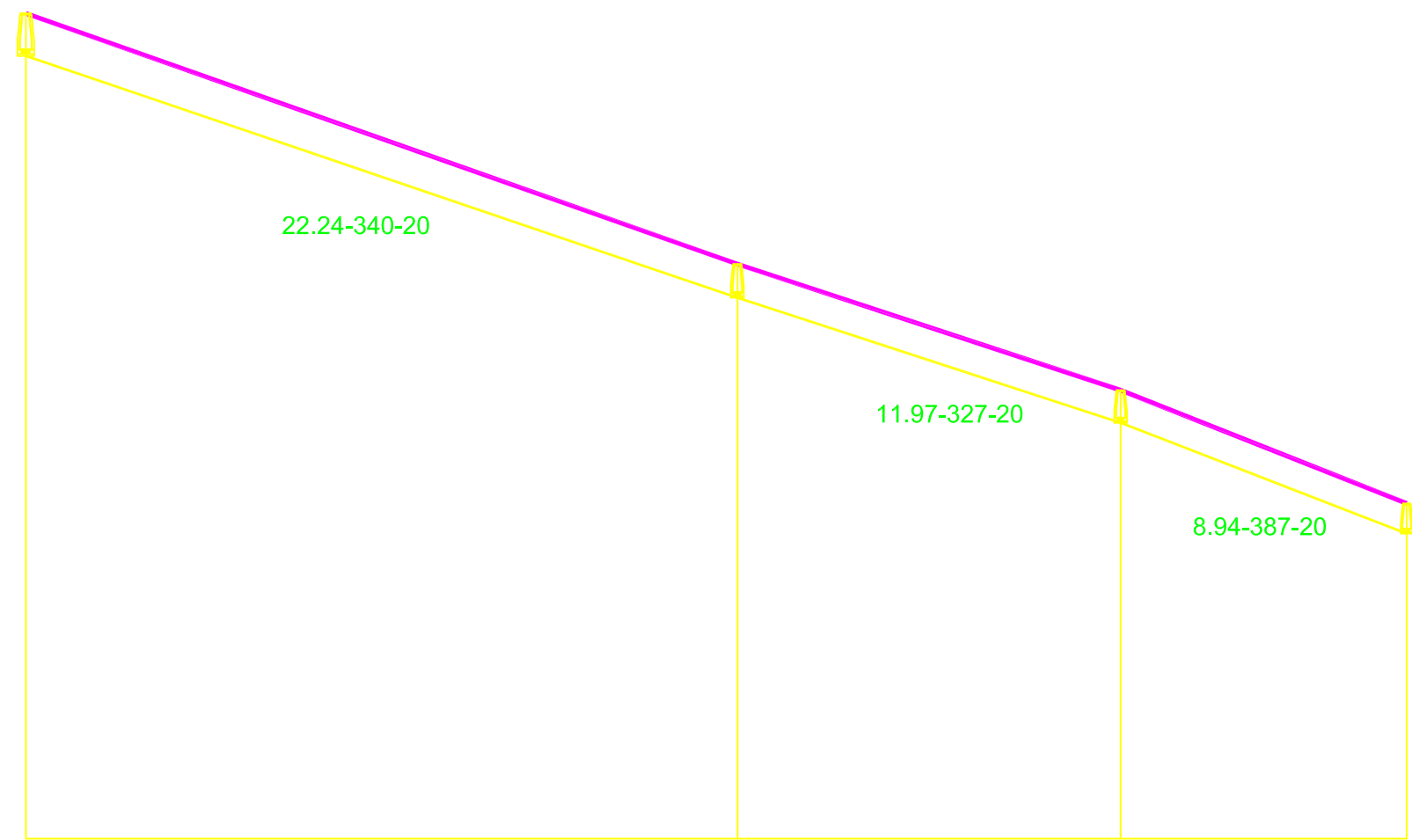
*ESC. = HOR. = 1: 300
VER. = 1: 300*



| | | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| PROYECTO: CASOS EXCEPCIONALES DE ALCANTARILLADO SANITARIO | | | |
| CONTENIDO: PERFIL DEL ARRASTRE HIDRAULICO | | | |
| LOCALIZACION: CALLE SAN FELIPE LAS TORRES COLONIA PALMITAS PACHUCA, HGO. | | | PLANO: PERF -03 1 de 1 |
| ESCALA: Indicadas | DIBUJO: Ing. M. R. V. R. | FECHA: Abril del 2014 | HOJA: 03 |
| LEVANTO: Ing. Monica Rocio Vazquez Rojas | | APROBO: Doc. Enrique Montiel Piña | |

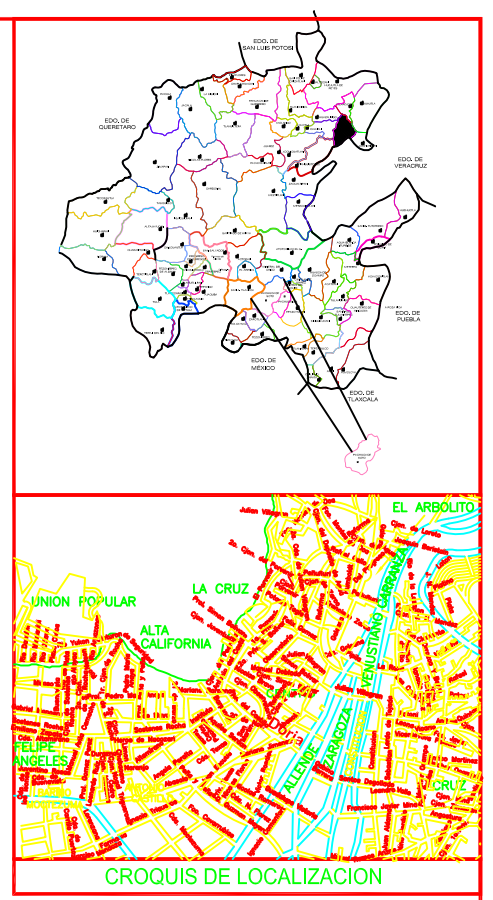
ELEVACIONES EN METROS

125 +
120 +
115 +
110 +
105 +
100 +

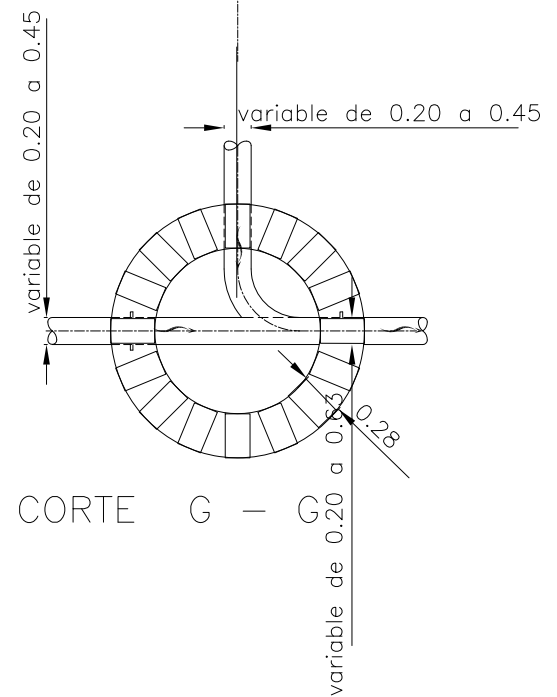
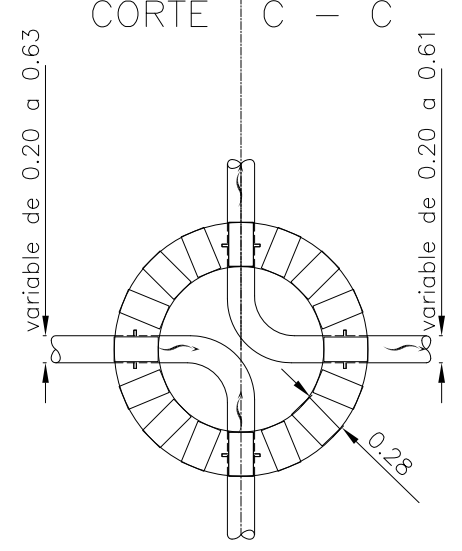
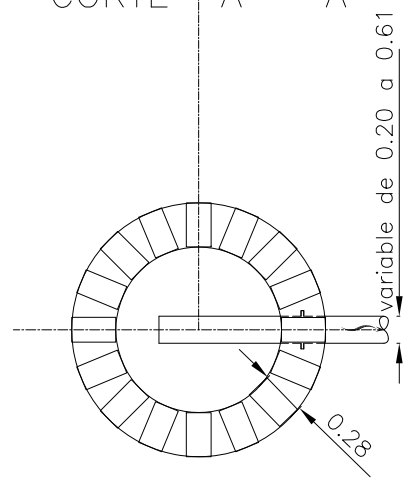
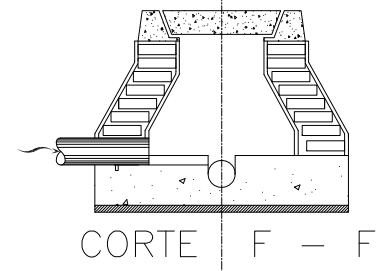
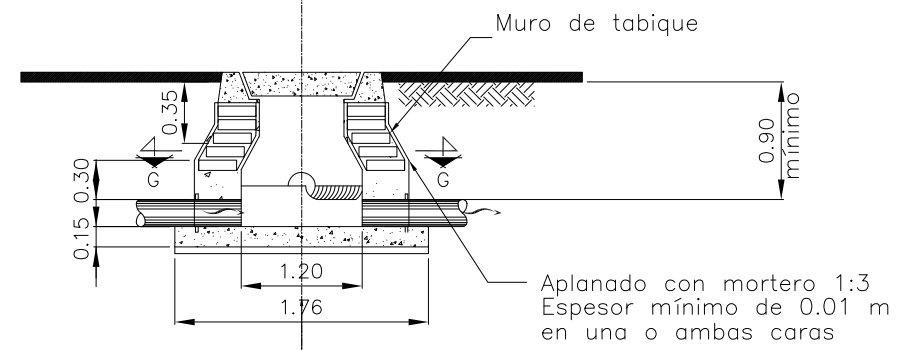
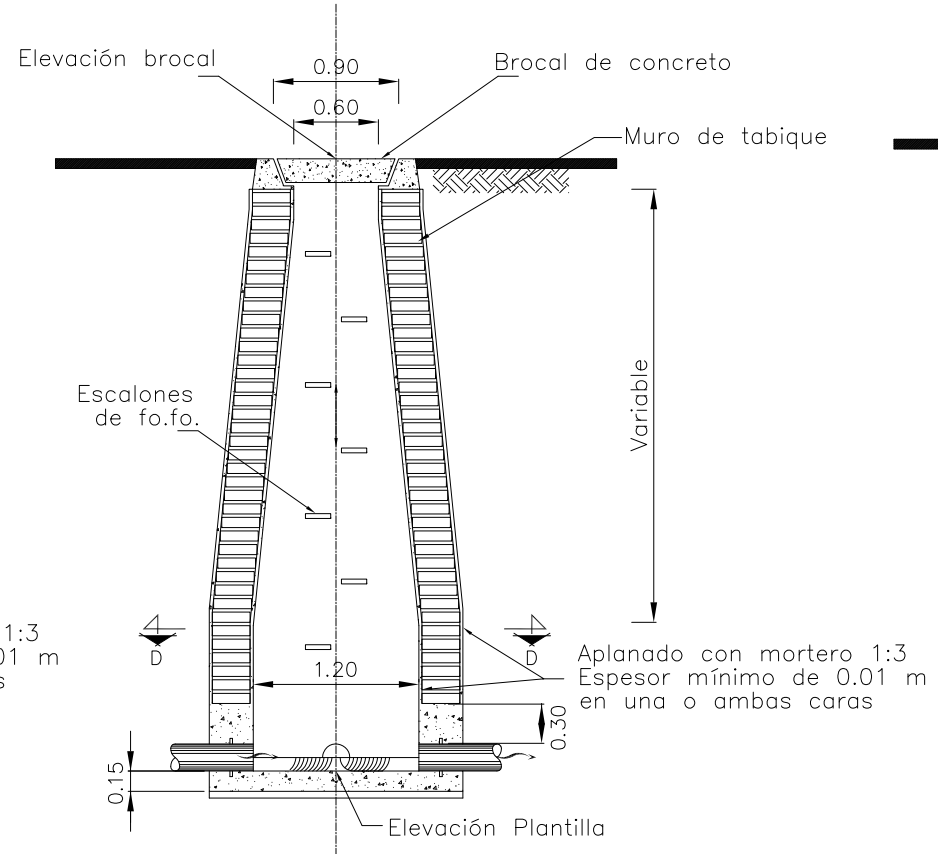
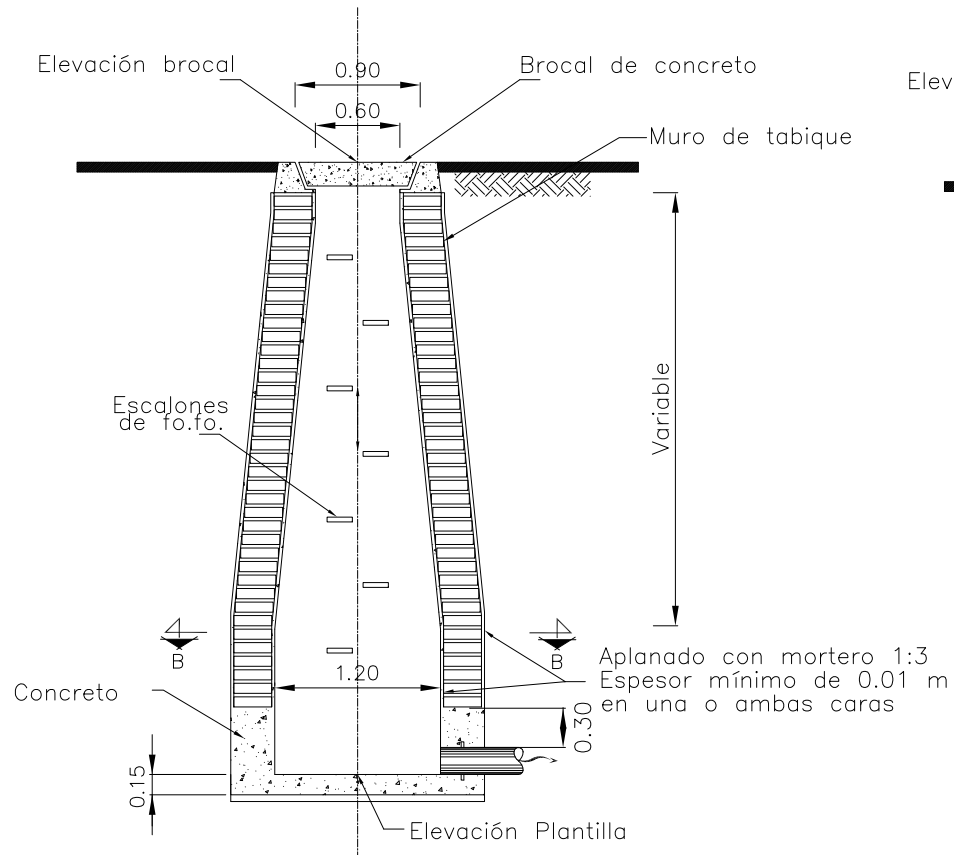
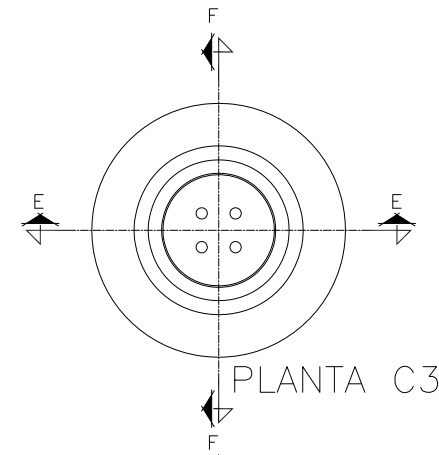
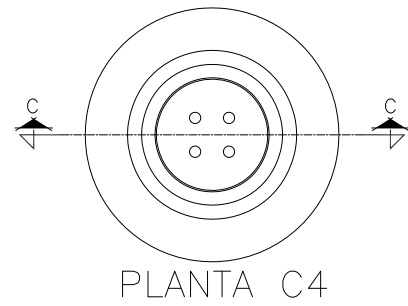
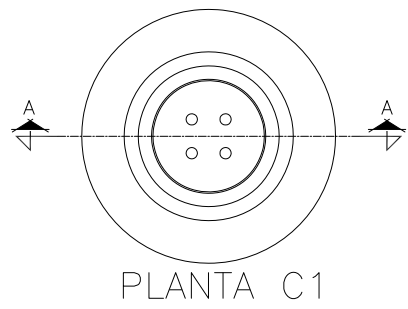


| | | | | |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| COTA DE TERRENO | 121.251 | 113.415 | 109.476 | 105.936 |
| COTA DE ARRASTRE HIDRAULICO | 119.921 | 112.365 | 108.456 | 104.996 |
| DISTANCIA AL ORIGEN | 0+000.00 | 0+022.24 | 0+034.21 | 0+043.15 |

ESC. = HOR. = 1: 200
VER. = 1: 200



| | | | |
|--|-----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| PROYECTO: A CASOS EXCEPCIONALES DE ALCANTARILLADO SANITARIO | | | |
| CONTENIDO: PERFIL DEL ARRASTRE HIDRAULICO | | | |
| LOCALIZACION: CALLE DORIA COLONIA ABASOLO (CENTRO) PACHUCA, HGO. | | | PLANO: PERF -04 |
| 1 de 1 | | | |
| ESCALA: Indicadas | DIBUJO: Ing. M. R. V. R. | FECHA: Abril del 2014 | CLAVE: 04 |
| LEVANTO: Ing. Monica Rocio Vazquez Rojas | | APROBO: Doc. Enrique Montiel Piña | |



N O T A S

* Acotaciones en metros excepto las indicadas en otra unidad.

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCION GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE INGENIERIA BÁSICA Y NORMAS TÉCNICAS.

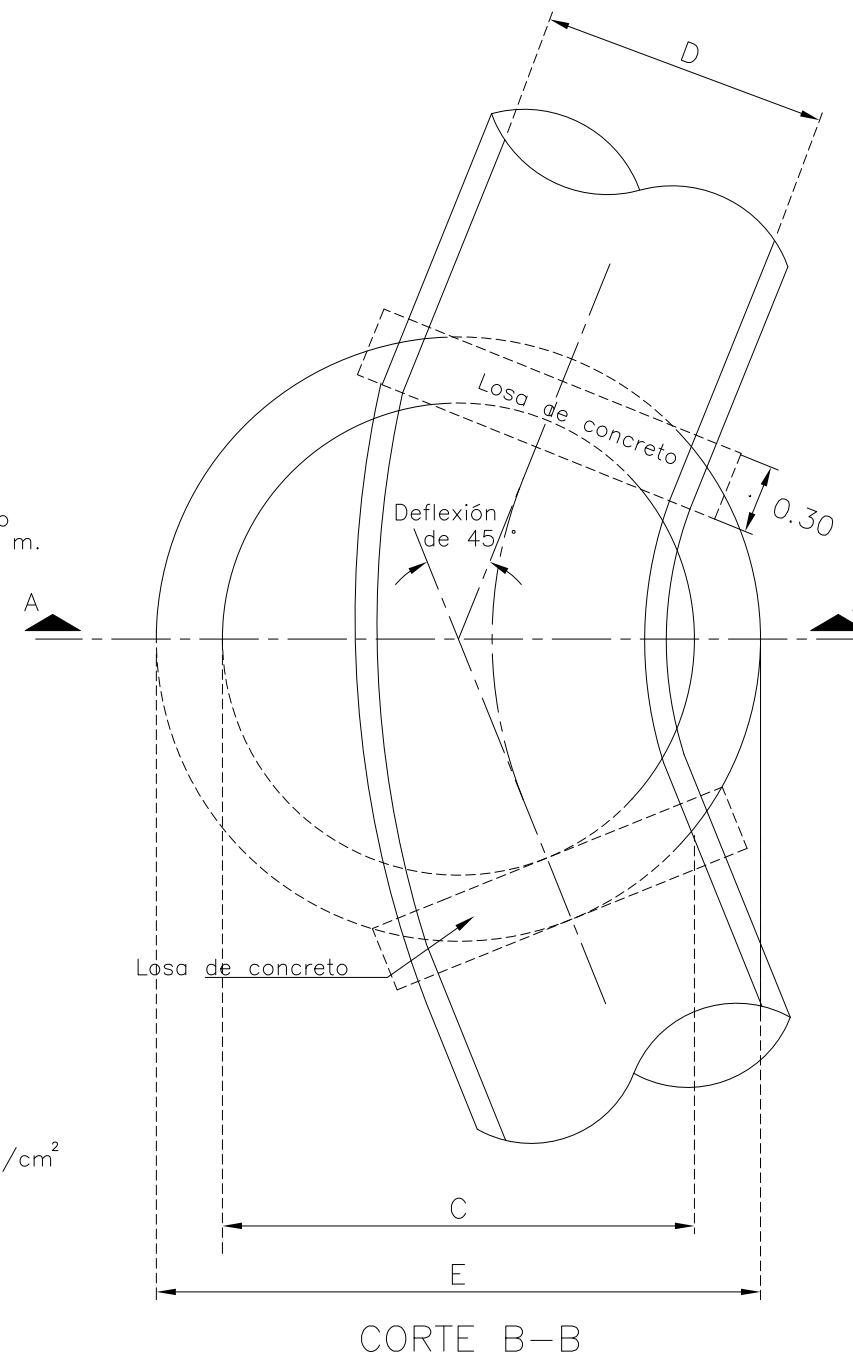
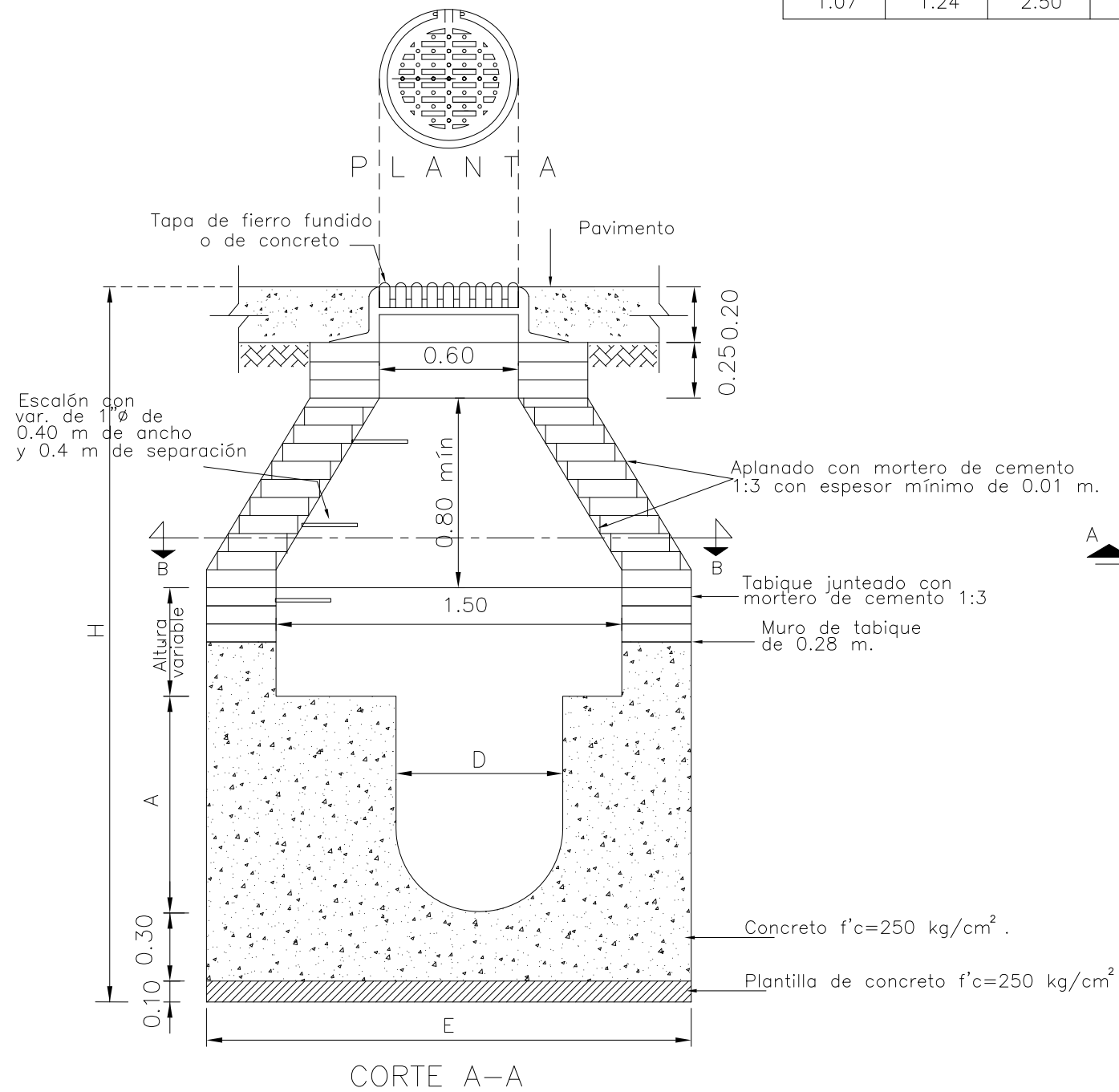
ALCANTARILLADO
POZO DE VISITA COMÚN
TUB. DE ENT. Y DE SAL. DE 0.20 A 0.61 M. DE Ø

| | |
|---------|-----------------------------|
| REVISÓ | APROBÓ |
| GERENTE | SUBDIRECTOR GENERAL TÉCNICO |

PLANO No. 2.1 (a)

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| REVISÓ | APROBÓ |
| ING. RAFAEL ECHAVARRIA ALFARO | M.I. VÍCTOR FRANCO |

| DIAMETRO (m) | A (m) | PROF. H (m) | C (m) | E (m) |
|--------------|-------|-------------|-------|-------|
| 0.76 | 0.91 | 2.25 | 1.50 | 1.70 |
| 0.91 | 1.07 | 2.35 | 1.50 | 1.90 |
| 1.07 | 1.24 | 2.50 | 1.50 | 2.10 |



NOTAS

* Acotaciones en metros excepto las indicadas en otra unidad.



COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCION GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE INGENIERÍA BÁSICA Y NORMAS TÉCNICAS.

ALCANTARILLADO
POZO DE VISITA ESPECIAL TIPO 1 (E1)
PARA DEFLEXIÓN TUB. 0.76 A 1.07m. DE ϕ

REVISÓ

APROBÓ

GERENTE

SUBDIRECTOR GENERAL TÉCNICO

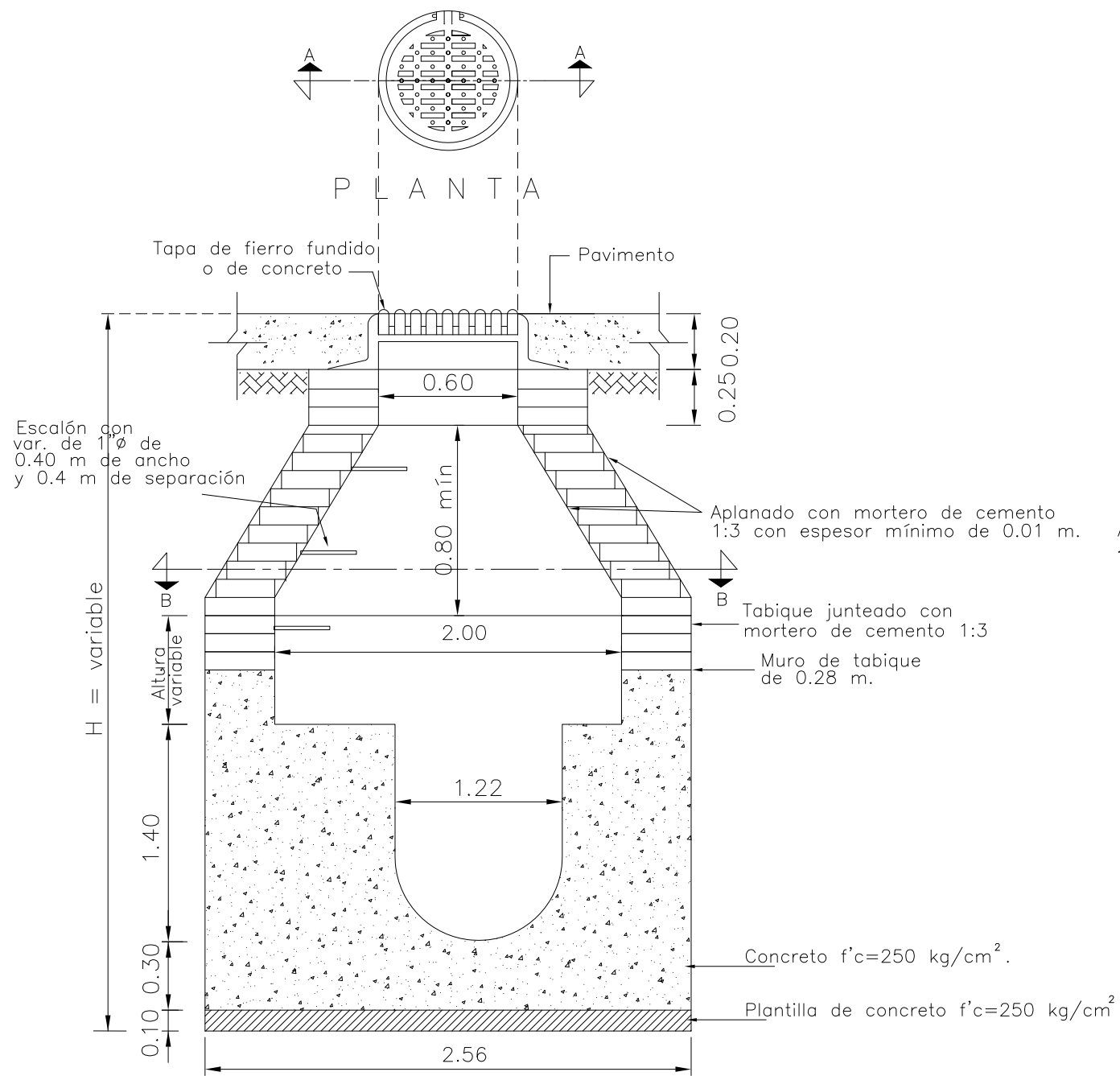
PLANO No. 2.2

REVISÓ

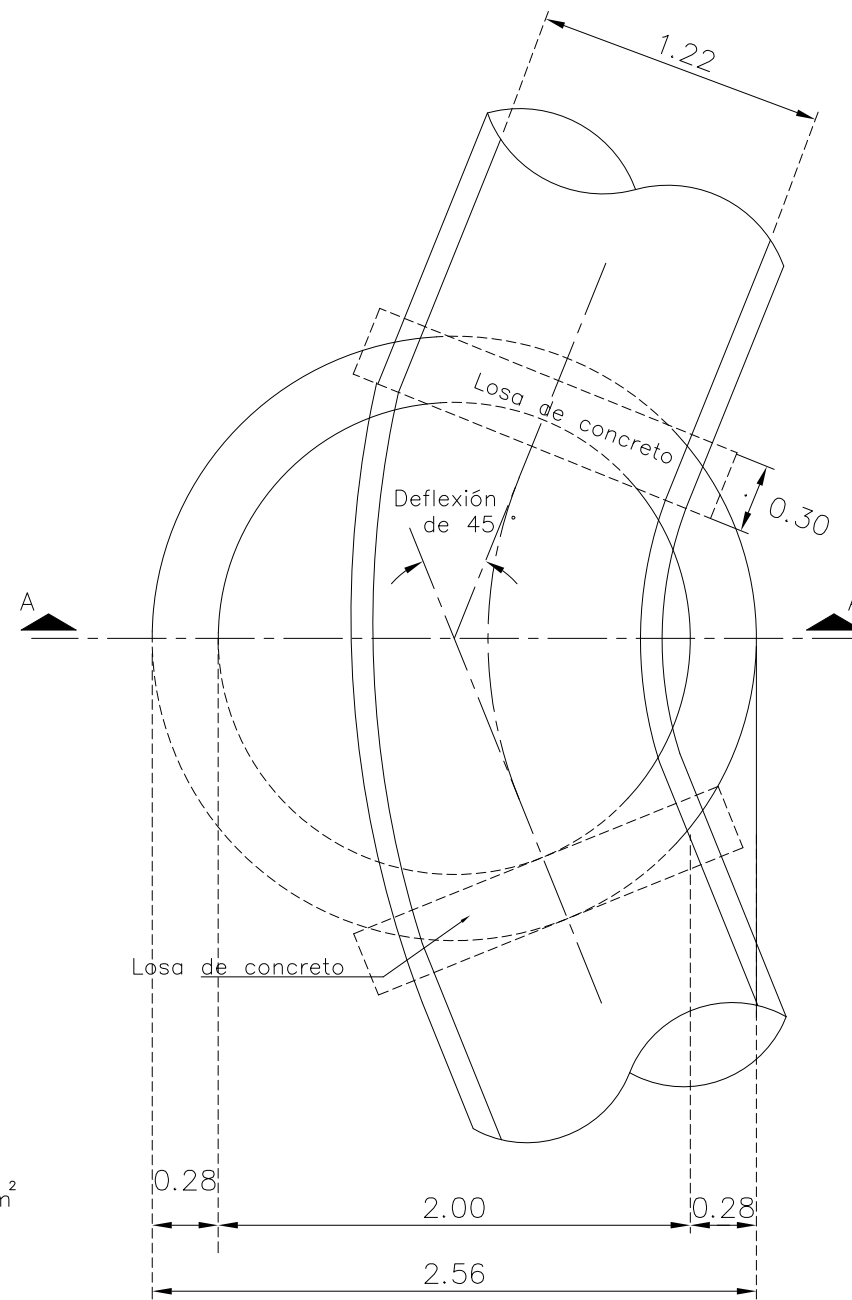
APROBÓ

ING. RAFAEL ECHAVARRIA ALFARO

M.I. VÍCTOR FRANCO



CORTE A - A



CORTE B - B

NOTAS

- * Acotaciones en metros excepto las indicadas en otra unidad.
- * El armado será se acuerdo a las características de la estructura

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCION GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE INGENIERÍA BÁSICA Y NORMAS TÉCNICAS.

ALCANTARILLADO
POZO DE VISITA ESPECIAL TIPO 2 (E2) DE DEFLEXIÓN
TUBERÍA DE 1.22 m. DE ϕ

| | |
|---------|-----------------------------|
| REVISÓ | APROBÓ |
| GERENTE | SUBDIRECTOR GENERAL TÉCNICO |

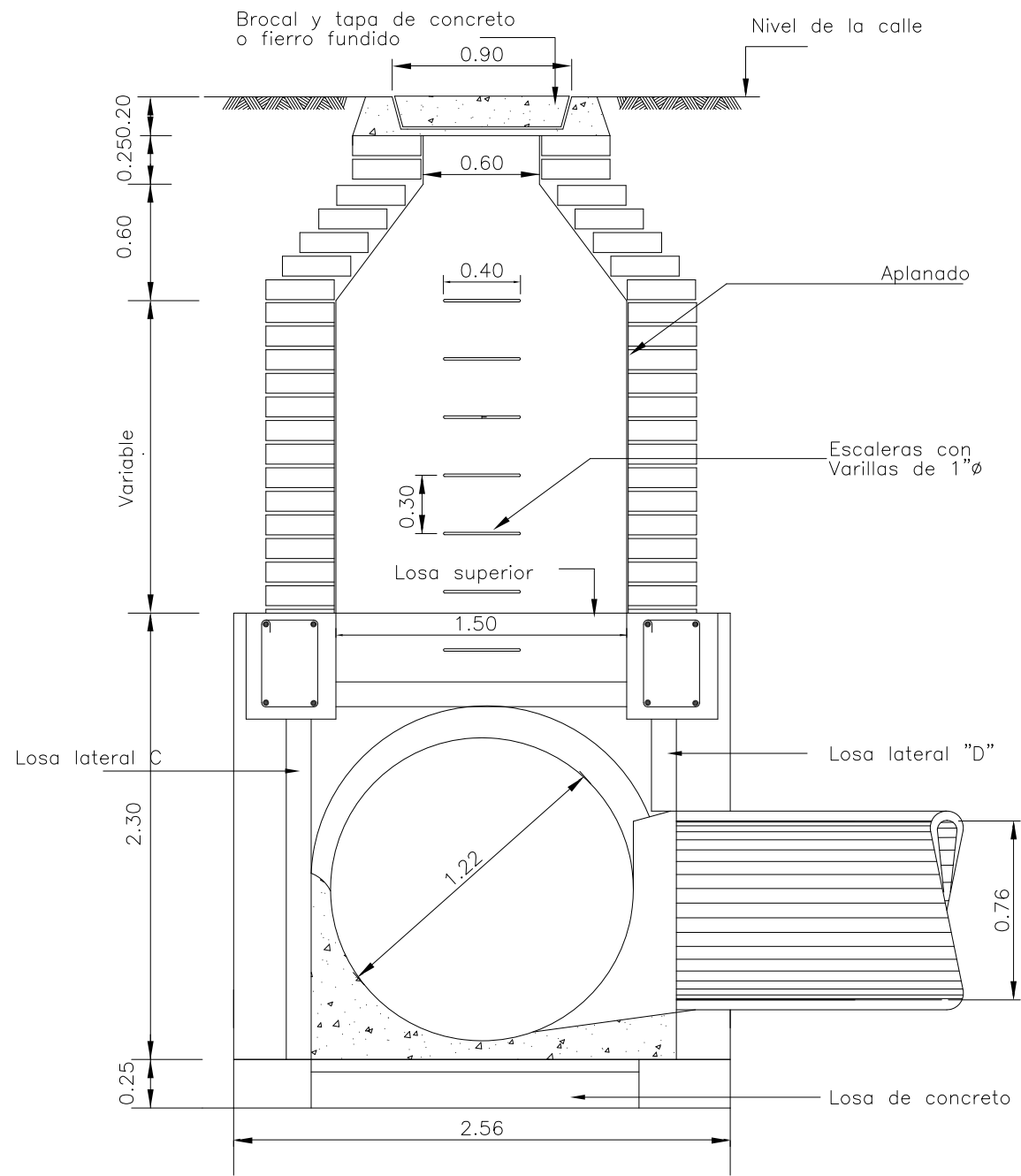
PLANO No. 2.3

REVISÓ

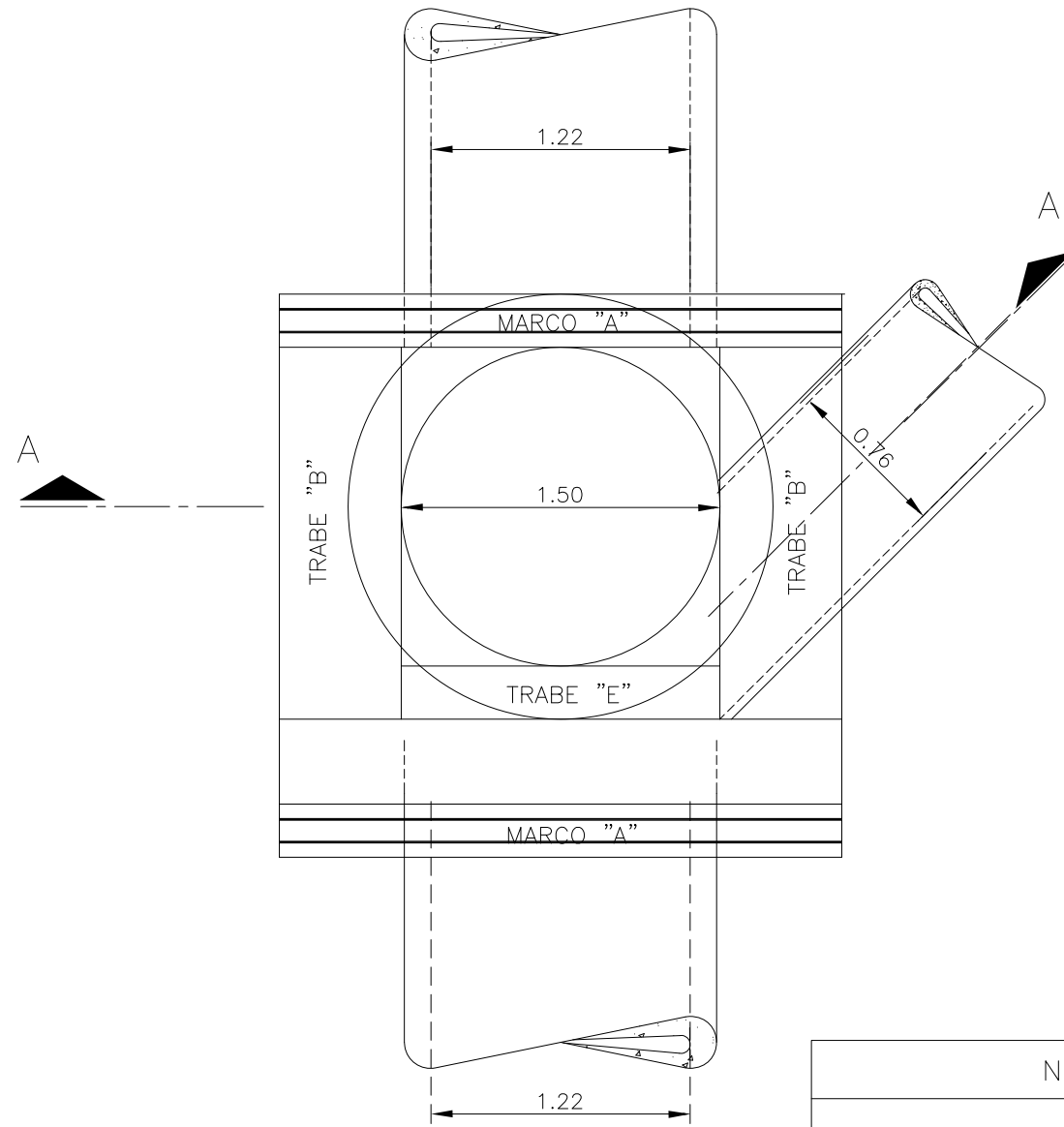
APROBÓ

ING. RAFAEL ECHAVARRÍA ALFARO

M.I. VÍCTOR FRANCO



C O R T E A-A



P L A N T A

N O T A S

- * Acotaciones en metros excepto las indicadas en otra unidad.
- * El armado variará de acuerdo a las características de la estructura

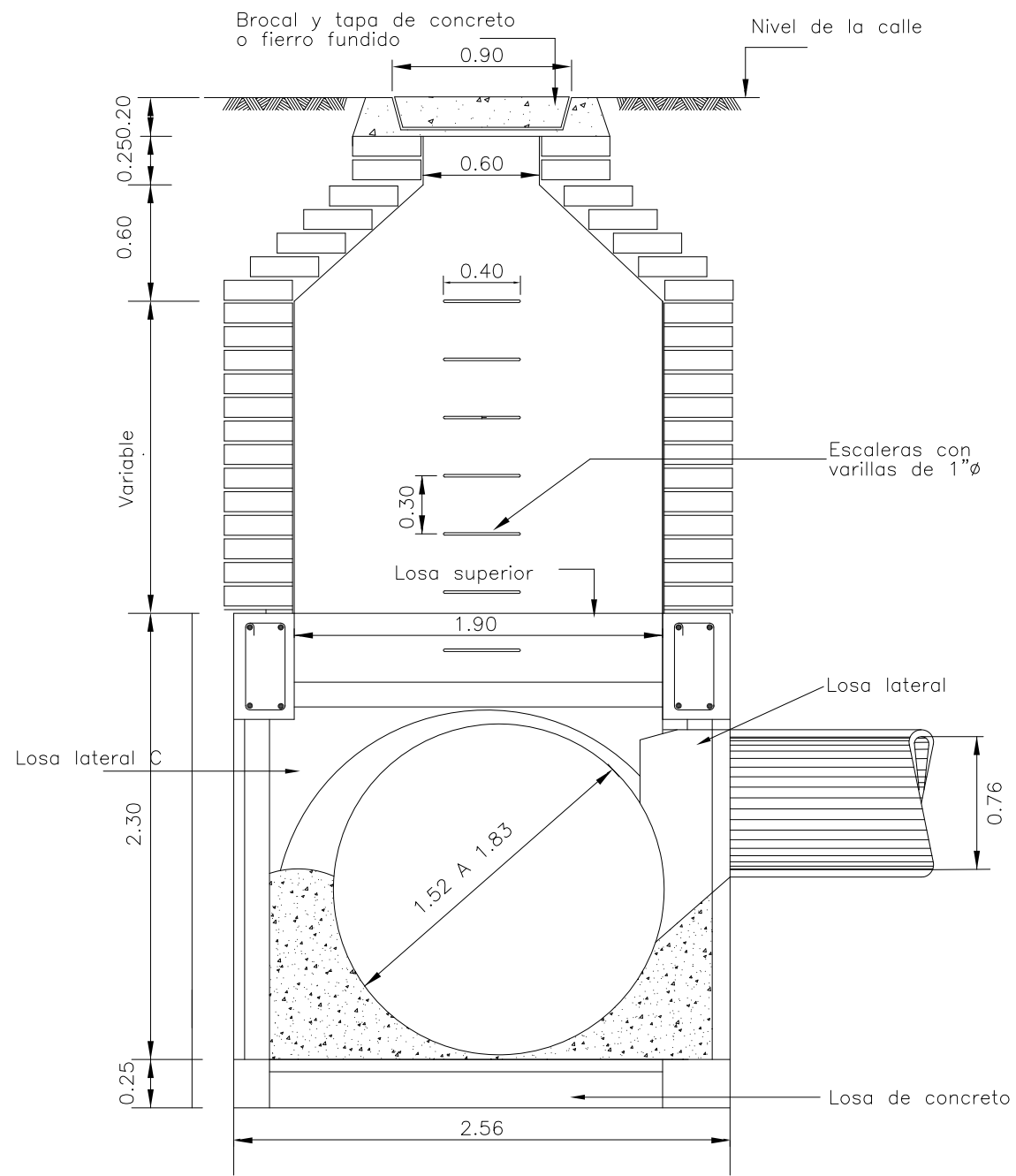
COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCION GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE INGENIERÍA BÁSICA Y NORMAS TÉCNICAS.

ALCANTARILLADO
CAJA TIPO 1
TUBERÍA DE 1.22 m CON ENTRONQUE HASTA 0.76 m. DE ϕ

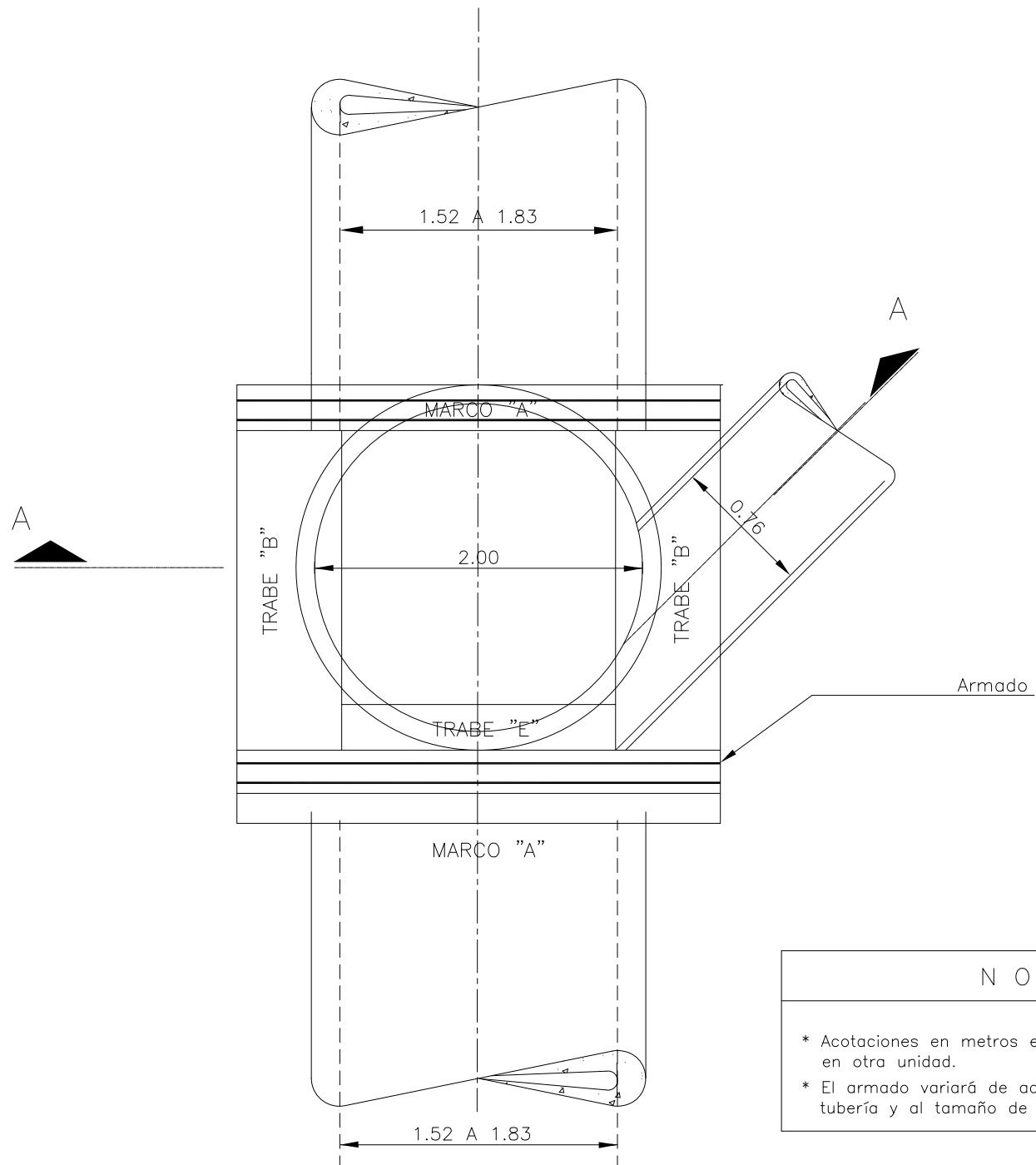
| | |
|---------|-----------------------------|
| REVISÓ | APROBÓ |
| GERENTE | SUBDIRECTOR GENERAL TÉCNICO |

| |
|---------------|
| PLANO No. 2.8 |
|---------------|

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| REVISÓ | APROBÓ |
| ING. RAFAEL ECHAVARRÍA ALFARO | M.I. VÍCTOR FRANCO |



C O R T E A-A



P L A N T A

N O T A S

- * Acotaciones en metros excepto las indicadas en otra unidad.
- * El armado variará de acuerdo al diámetro de la tubería y al tamaño de la caja.

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCION GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE INGENIERIA BÁSICA Y NORMAS TÉCNICAS.

ALCANTARILLADO
CAJA TIPO 2
PARA TUBERÍA DE 1.52 A 1.83 m CON ENTRONQUE DE
TUBERÍA HASTA 0.76 m. DE Ø

REVISÓ

GERENTE

APROBÓ

SUBDIRECTOR GENERAL TÉCNICO

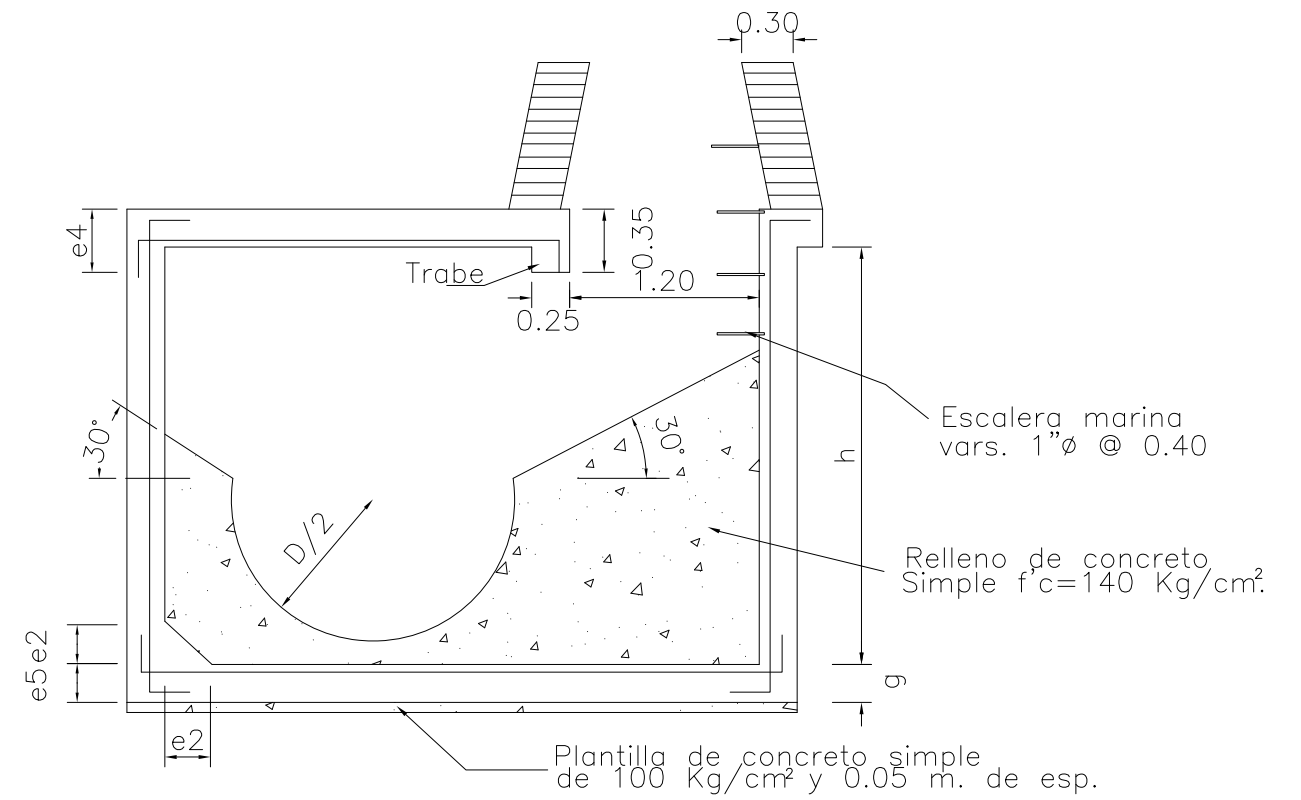
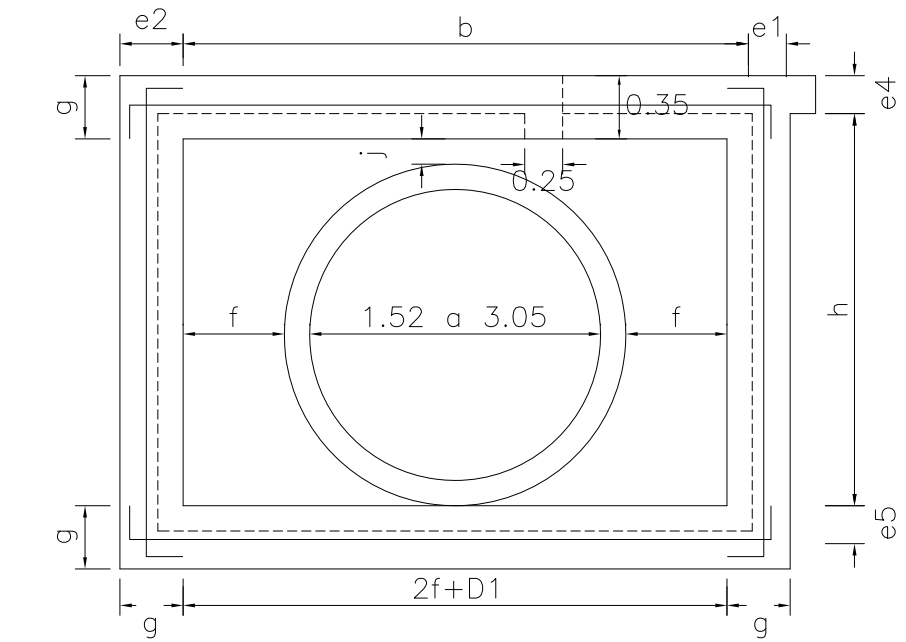
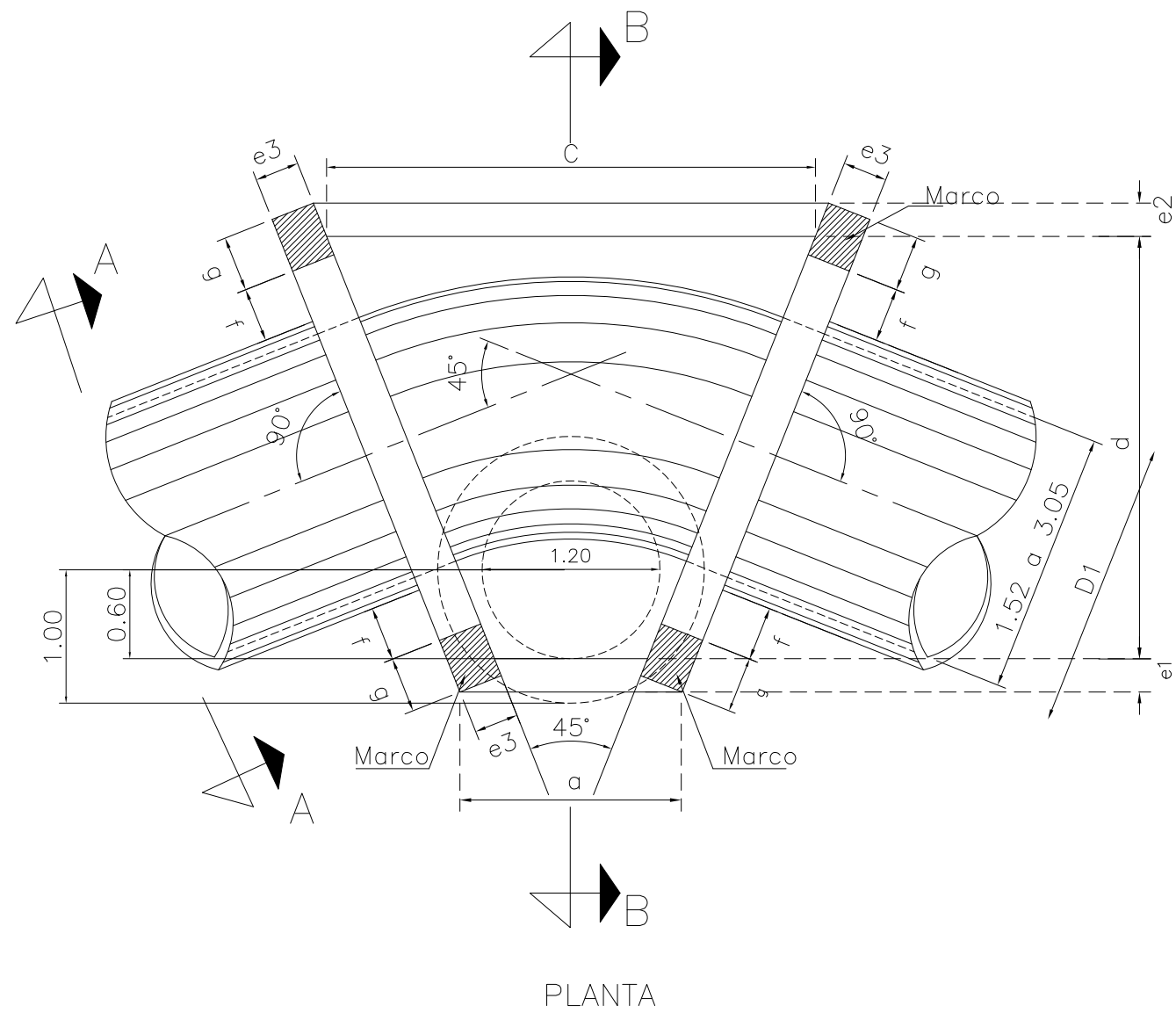
PLANO No. 2.9

REVISÓ

ING. RAFAEL ECHAVARRÍA ALFARO

APROBÓ

M.I. VÍCTOR FRANCO



| DIMENSIONES GENERALES | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| CAJA TIPO | DIMENSIONES | | | | | | | | | | | | | | |
| | D | D1 | a | b | c | d | e1 | e2 | e3 | e4 | e5 | f | g | h | i |
| B1 | 1.52 | 1.82 | 1.00 | 3.13 | 3.40 | 2.90 | 0.20 | 0.20 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.505 | 0.35 | 2.02 | 0.10 |
| B2 | 1.83 | 2.19 | 1.00 | 3.13 | 3.40 | 2.90 | 0.20 | 0.20 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.32 | 0.35 | 2.38 | 0.09 |
| C1 | 2.13 | 2.55 | 1.00 | 3.85 | 3.94 | 3.56 | 0.20 | 0.20 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.30 | 0.50 | 2.88 | 0.10 |
| C2 | 2.44 | 2.88 | 1.00 | 3.85 | 3.94 | 3.56 | 0.20 | 0.20 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.185 | 0.50 | 3.25 | 0.12 |
| D1 | 2.50 | - | 1.00 | 4.60 | 4.52 | 4.26 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | | 0.70 | 3.55 | |
| D2 | 3.05 | - | 1.00 | 4.60 | 4.52 | 4.26 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | | 0.70 | 4.15 | |

ELEVACION SEGÚN CORTE B-B

NOTAS

- * Acotaciones en metros excepto las indicadas en otra unidad.
- * El armado será de acuerdo a las características de la estructura.

COMISION NACIONAL DEL AGUA
SUBDIRECCION GENERAL TÉCNICA
GERENCIA DE INGENIERÍA BÁSICA Y NORMAS TÉCNICAS.

ALCANTARILLADO
POZO DE DEFLEXIONES HASTA 45°
DIÁMETROS: 1.52 A 3.05 m.

| | |
|---------|-----------------------------|
| REVISÓ | APROBÓ |
| GERENTE | SUBDIRECTOR GENERAL TÉCNICO |

PLANO No. 2.13

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| REVISÓ | APROBÓ |
| ING. RAFAEL ECHAVARRÍA ALFARO | M.I. VÍCTOR FRANCO |