



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LAS
COLONIAS VILLAS DE MAGNOLIA Y LO DE BRAN, MIXCO, GUATEMALA**

Mayra Raquel Tala Rodas

Asesorada por el Ing. Ángel Roberto Sic García

Guatemala, marzo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LAS
COLONIAS VILLAS DE MAGNOLIA Y LO DE BRAN, MIXCO, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MAYRA RAQUEL TALA RODAS
ASESORADA POR EL ING. ÁNGEL ROBERTO SIC GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Gordillo García
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LAS
COLONIAS VILLAS DE MAGNOLIA Y LO DE BRAN, MIXCO, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha enero de 2012.



Mayra Raquel Tala Rodas



Guatemala, 11 de mayo de 2012
Ref.EPS.DOC.697.05.12

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Mayra Raquel Tala Rodas** de la Carrera de Ingeniería Civil, con carné No. **200412909**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LAS COLONIAS VILLAS DE MAGNOLIA Y LO DE BRAN, MIXCO, GUATEMALA”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Angel Roberto Sic García
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil



c.c. Archivo
ARSG/ra



Guatemala, 31 de mayo de 2012
Ref.EPS.D.566.05.12

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente


Estimado Ingeniero Montenegro Franco.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LAS COLONIAS VILLAS DE MAGNOLIA Y LO DE BRAN, MIXCO, GUATEMALA"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Mayra Raquel Tala Rodas**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ing. Ángel Roberto Sic García.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zepeda de Serrano
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
16 de mayo de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LAS COLONIAS VILLAS DE MAGNOLIA Y LO DE BRAN, MIXCO, GUATEMALA**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil **Mayra Raquel Tala Rodas**, quien contó con la asesoría del Ing. Ángel Roberto Sic García.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
Revisor por el Departamento de Hidráulica



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Ángel Roberto Sic García y de la Coordinadora de E.P.S. Inga. Sigríd Alitza Calderón de León De de León, al trabajo de graduación de la estudiante Mayra Raquel Tala Rodas, titulado **DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LAS COLONIAS VILLAS DE MAGNOLIA Y LO DE BRAN, MIXCO, GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, marzo 2013

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

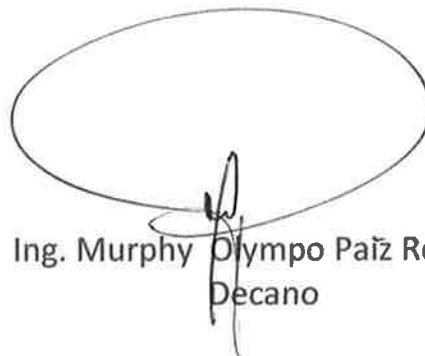


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 207.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LAS COLONIAS VILLAS DE MAGNOLIA Y LO DE BRAN, MIXCO, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Mayra Raquel Tala Rodas**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 14 de marzo de 2013

/gdech



AGRADECIMIENTOS A:

Dios

Gracias Señor por el cuidado que has tenido conmigo y permitir llamarme Tu hija, porque hoy puedo decir, que me has dado mucho más de lo que merezco, Tuya es la gloria y la honra por siempre.

Mi papá

José Tala, por ser un gran padre y ejemplo de excelencia en mi vida, este triunfo es especialmente tuyo.

Mi mamá

Carmen Rodas, por ser en mi vida ejemplo de superación y lucha, te debo todo lo que soy, gracias por tu esfuerzo y amor incondicional.

Mi hermano

Alberto Tala, salud por los buenos momentos.

Mis tíos

Especialmente a mi tía Amparo Rodas, quien desde muy temprana edad me enseñó que por Dios vivimos, nos movemos y somos y quien me presentó la oportunidad de una vida de salvación maravillosa, que Dios te galardone por eso.

Mis primos

En especial a Carol, Dennis y Lesli, con cariño para ustedes.

Mi novio

Jorge Pontaza, porque con tu ejemplo de superación y esfuerzo, me inspiras a seguir adelante, que Dios te recompense con su amor y presencia todo lo bueno que he recibido de ti.

Mis amigos

Porque son perlas preciosas que Dios otorgo a mi vida, sin ustedes, esto no hubiera sido posible.

Los ingenieros

Manglio Hernández y Cristóbal Cruz, por su amistad y apoyo para realizar este trabajo de graduación.

**Universidad de San Carlos
de Guatemala**

Por ser la casa donde me forme, es un honor haber caminado por sus aulas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1 . MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA	1
1.1. Antecedentes históricos	1
1.2. Características geográficas	1
1.2.1. Localización y extensión territorial	1
1.2.2. Ubicación geográfica y colindancias.....	2
1.2.3. Accesos y comunicaciones.....	2
1.2.4. Aspectos climatológicos e hidrográficos	2
1.3. Características económicas	3
1.4. Características socioculturales	3
1.4.1. Población.....	3
1.4.1.1. Tasa de crecimiento poblacional	4
1.4.2. Educación.....	4
1.4.3. Servicios básicos existentes.....	4
1.5. Diagnóstico de las necesidades del municipio de Mixco, Guatemala.....	5
1.6. Priorización de las necesidades del municipio de Mixco, Guatemala.....	6

2 .	CRITERIOS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO	7
2.1.	Descripción de un sistema de alcantarillado sanitario.....	7
2.1.1.	Especificaciones generales.....	7
2.1.2.	Línea de conducción principal.....	9
2.1.3.	Tipos de tubería	9
2.1.3.1.	Tubería de concreto	9
2.1.3.1.1.	Características	9
2.1.3.1.2.	Ventajas y usos.....	10
2.1.3.2.	Tubería de cloruro de polivinilo (PVC)	10
2.1.3.2.1.	Características.....	11
2.1.3.2.2.	Ventajas y usos.....	12
2.1.4.	Pozos de visita	13
2.1.4.1.	Características	13
2.1.4.2.	Dimensiones	14
2.1.4.3.	Criterios para un diseño eficiente.....	14
2.1.4.4.	Excavación y dimensiones.....	14
2.1.4.5.	Cama de apoyo o base	15
2.1.4.6.	Colocación	15
2.1.4.7.	Relleno y compactación	16
2.1.4.8.	Ubicación de pozos de visita.....	17
2.1.5.	Conexiones domiciliarias	17
2.1.6.	Desfogue.....	19
2.2.	Topografía.....	19
2.2.1.	Altimetría	20
2.2.2.	Planimetría	20
2.3.	Diseño de la red de distribución	21
2.3.1.	Período de diseño	21

2.3.2.	Población de diseño	22
2.3.3.	Dotación de agua potable.....	23
2.3.4.	Factor de retorno	23
2.3.5.	Factor de flujo o de Harmond	24
2.3.6.	Caudal sanitario.....	24
2.3.6.1.	Caudal domiciliar	25
2.3.6.2.	Caudal comercial.....	25
2.3.6.3.	Caudal industrial.....	26
2.3.6.4.	Caudal de conexiones ilícitas	26
2.3.6.5.	Caudal de infiltración	27
2.3.7.	Caudal medio	28
2.3.8.	Factor de caudal medio	29
2.3.9.	Caudal de diseño.....	30
2.3.10.	Diseño de secciones y pendientes	31
2.3.11.	Diámetros mínimos.....	31
2.3.12.	Velocidades máximas y mínimas de diseño	32
2.3.13.	Cálculo de Cotas Invert	32
2.3.14.	Factor de rugosidad.....	33
2.3.15.	Profundidad de tubería	34
2.3.16.	Principios hidráulicos.....	35
2.3.16.1.	Relaciones hidráulicas.....	35
2.4.	Evaluación de impacto ambiental	40
2.4.1.	Definición.....	40
2.4.2.	Aspectos cubiertos por estudios de impacto ambiental	41
2.4.3.	Evaluación ambiental de proyectos	41
2.4.4.	Seguimiento ambiental	42

3 .	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA COLONIA VILLAS DE MAGNOLIA	43
3.1.	Diseño de la red de distribución	43
3.2.	Diseño de fosa séptica	52
3.3.	Presupuesto	54
3.4.	Cronograma de ejecución	56
3.5.	Evaluación socioeconómica	58
3.5.1.	Valor Presente Neto (VPN)	58
3.5.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	59
3.6.	Evaluación de impacto ambiental.....	60
4 .	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA COLONIA LO DE BRAN.....	65
4.1.	Diseño de la red de distribución	65
4.2.	Presupuesto	74
4.3.	Cronograma de ejecución	76
4.4.	Evaluación socioeconómica	78
4.4.1.	Valor Presente Neto (VPN)	78
4.4.2.	Tasa Interna de Retorno (TIR)	79
4.5.	Evaluación de impacto ambiental.....	80
	CONCLUSIONES.....	85
	RECOMENDACIONES	87
	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	APÉNDICE	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Conexiones domiciliarias	18
2.	Sección del canal	35
3.	Área de sección parcialmente llena	37
4.	Planta fosa séptica propuesta.....	53
5.	Corte A-A´ fosa séptica propuesta	54

TABLAS

I.	Clasificación del levantamiento topográfico	19
II.	Valores permitidos de factor de caudal medio	30
III.	Factores de rugosidad (n)	33
IV.	Relaciones hidráulicas sección circular.....	38
V.	Resumen del presupuesto del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia.....	54
VI.	Cronograma para la ejecución del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia.....	57
VII.	Matriz modificada de Leopold del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia.....	60
VIII.	Resumen del presupuesto del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Lo de Bran.	74
IX.	Cronograma para la ejecución del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Lo de Bran.	77

X. Matriz modificada de Leopold del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Lo de Bran.....80

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H_p	Altura de pozos de visita
H_{min}	Altura mínima
A	Área hidráulica de la tubería
Q	Caudal a sección llena
Q_{com}	Caudal comercial
q	Caudal de diseño a sección parcialmente llena
Q_{inf}	Caudal de infiltración
Q_{dom}	Caudal domiciliario
Q_{ind}	Caudal industrial
Q_{med}	Caudal medio
Q_{ci}	Caudal por conexiones ilícitas
cm	Centímetro
n	Coefficiente de rugosidad
CT	Cota del terreno
c_f	Cota final
c_o	Cota inicial
CI	Cota Invert
CIE	Cota Invert de entrada
CIS	Cota Invert de salida
CI_{min}	Cota Invert mínima
Ø, D	Diámetro
DH	Distancia horizontal
Dot	Dotación

Dot_{ii}	Dotación ilícita
Et	Espesor de tubería
fqm	Factor de caudal medio
FH	Factor Hardmon
G	Grados
°C	Grados centígrados
Hab	Habitantes
IP	Índice de plasticidad
kg	Kilogramos
km	Kilómetros
km²	Kilómetros cuadrados
kph	Kilómetros por hora
l	Litros
l/hab/día	Litros por habitante por día
l/km/día	Litros por kilometro por día
l/s	Litros por segundo
L	Longitud
Lt	Longitud de tubería
Hg	Mercurio
m	Metros
m²	Metros cuadrados (área)
m³/s	Metros cúbicos por segundo (caudal)
m/s	Metros por segundo (velocidad)
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetros
min	Minutos
S	Pendiente del terreno en porcentaje
S_t	Pendiente del tubo en porcentaje
P_f	Población futura

P_o	Población inicial
PV	Pozo de visita
pul	Pulgadas
r	Radio hidráulico
q/Q	Relación de caudales
d/D	Relación de tirantes
v/V	Relación de velocidades
F'_c	Resistencia nominal del concreto
s	Segundos
T	Tiempo de retención
d	Tirante de agua dentro del tubo
v	Velocidad de diseño a sección parcialmente llena
V	Velocidad a sección llena
V_{máx}	Velocidad máxima
Vol	Volumen de fosa séptica

GLOSARIO

Aguas negras	En general, se llama así, a las aguas de desechos provenientes de usos domésticos, comerciales e industriales.
Altimetría	Procedimiento utilizado para definir las diferencias de nivel existentes entre puntos distintos de terreno o construcción.
Azimut	Es el ángulo formado por su dirección horizontal y la del norte verdadero, determinado astronómicamente. El azimut se mide en el plano horizontal en el sentido de las agujas del reloj.
Caudal	Cantidad de agua que brota de un manantial o cantidad de aguas negras producto del uso humano, por unidad de tiempo.
Caudal de infiltración	Cantidad de volumen de agua subterránea que se infiltra dentro del sistema de drenajes, debido al nivel de la capa freática.
Caudal de diseño	Está integrado por el caudal máximo de origen doméstico, caudal de infiltración, conexiones ilícitas y aguas de origen comercial e industrial.

Colector	Tubería, generalmente de servicio público, que recibe y conduce las aguas indeseables de la población al lugar de descarga.
Concreto	Es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, arena, pedrín y agua.
Conexión domiciliar	Tubería que conduce las aguas negras desde el interior de la vivienda hasta el alcantarillado sanitario.
Compactación	Acción de hacer alcanzar a un material una textura maciza con la menor cantidad de espacios vacíos posible.
Cota de terreno	Altura de un punto respecto a un plano de referencia.
Cota Invert	Distancia desde la rasante del terreno hasta la parte más baja de la tubería de la línea principal de conducción en la entrada y salida del pozo de visita.
Descarga	Lugar donde se vierten las aguas negras provenientes de un colector, las cuales pueden estar crudas o tratadas.
Dotación	Cantidad de agua que una persona necesita por día para satisfacer sus necesidades.

Estación	Puntos de referencia en el levantamiento topográfico en los que se coloca el teodolito o estación total para cualquier operación de levantamiento planimétrico o de nivelación.
Factor de retorno	Relación entre el consumo de agua y la dotación por cada persona. Puede variar en función de la región en estudio.
INFOM	Instituto Nacional de Fomento Municipal
Período de diseño	Tiempo durante el cual un sistema dará un servicio satisfactorio a la población.
Pozo de visita	Una estructura que forma parte de un alcantarillado y tiene por objeto dar inspección, limpieza y ventilación al sistema.
Relaciones hidráulicas	Relación que existe entre cada uno de los parámetros de diseño a sección llena y los parámetros de diseño a sección parcialmente llena, las cuales deben cumplir con ciertas condiciones para que las tuberías no trabajen a sección llena.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación es el resultado del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) que se desarrolló en el municipio de Mixco, Guatemala. Mixco es un municipio de primera categoría por el número de habitantes con que cuenta y en su mayoría está formado por zonas urbanas; sin embargo, hay muchas poblaciones que aún carecen de servicios básicos como agua potable, drenajes pluviales, drenajes sanitarios, carreteras, etc.

Por esta razón se realizó un análisis de la situación del municipio y se priorizaron los proyectos para las comunidades con mayor necesidad, siendo los seleccionados para el desarrollo de esta trabajo de graduación los sistemas de alcantarillado sanitario para las colonias Villas de Magnolia y Lo de Bran.

Luego de obtenidos los datos topográficos de altimetría y planimetría se procedió a diseñar ambos sistemas, proponiendo para su construcción tubería de PVC que según el diseño será de 6 pulgadas. El sistema de alcantarillado para la colonia Lo de Bran desfogará a un colector existente de 21 pulgadas de diámetro, mientras que el sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia desfogará al río.

El presente informe consta de 4 capítulos, el primero está compuesto por la monografía del municipio de Mixco, el segundo está integrado por los criterios de diseño para un sistema de alcantarillado sanitario; en el capítulo 3 se desglosa el diseño de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia y en el capítulo 4 se desarrolla el diseño de alcantarillado sanitario para la colonia Lo de Bran. Ambos proyectos tienen incluido el presupuesto, el

cronograma de ejecución, la evaluación socioeconómica y la evaluación ambiental correspondiente.

Estos proyectos se desarrollaron basados en las normas para alcantarillado sanitario del Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM). En los anexos de este trabajo se incluyen todos los planos que fueron desarrollados y entregados a las autoridades municipales.

OBJETIVOS

General

Diseñar los sistemas de alcantarillado sanitario para las colonias Villas de Magnolia y Lo de Bran.

Específicos

1. Realizar una investigación diagnóstica para priorizar las necesidades de proyectos de infraestructura del municipio de Mixco.
2. Capacitar a las comunidades en operación y mantenimiento de los sistemas de alcantarillado sanitario propuestos.

INTRODUCCIÓN

A través del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se pretende desarrollar proyectos de obra civil que beneficien a las comunidades más necesitadas. Es por ello que en esta ocasión se realizaron los diseños de alcantarillado sanitario para las colonias Villas de Magnolia y Lo de Bran, debido a que no cuentan con este servicio básico para evacuar sus aguas servidas, lo cual ocasiona múltiples molestias entre los pobladores por la contaminación que se genera.

Es mucha la necesidad de infraestructura que aún tiene el municipio de Mixco en muchas comunidades; sin embargo, se eligieron estos dos proyectos pensando en disminuir la proliferación de enfermedades que la carencia de un sistema de drenajes ocasiona.

En ambos proyectos se utilizaron criterios técnicos y económicos con los cuales se obtuvieran sistemas eficientes, económicos y de fácil mantenimiento y se diseñaron de tal forma que todo el colector trabaje por gravedad, siempre tratando de utilizar para todos los tramos la pendiente del terreno, esto para bajar costos en excavación y relleno.

1 . MONOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE MIXCO, GUATEMALA

1.1. Antecedentes históricos

El municipio de Mixco fue fundado en 1 526 por Pedro de Alvarado; en ese tiempo eran los padres Dominicos los encargados de colocar a las autoridades quienes determinaron establecer dos alcaldías, una de indios y otra de ladinos. El municipio de Mixco, durante la época colonial dependió de la autoridad del municipio de Sacatepéquez pero en 1 877 ganó su autonomía con el gobierno del general Justo Rufino Barrios y del licenciado Miguel García Granados.

El término Mixco tiene dos significados, el primero proviene de la palabra Mixco Cucul que se traduce como “pueblo de loza pintada” y el segundo proviene de la palabra Nahuatl Mixconco, que significa “lugar cubierto de nubes”.

1.2. Características geográficas

El municipio de Mixco presenta características geográficas muy variadas, tanto en clima como de superficie, pudiéndose encontrar desde zonas muy planas hasta montañosas.

1.2.1. Localización y extensión territorial

El municipio de Mixco pertenece al departamento de Guatemala y se encuentra ubicado a una distancia de 19 kilómetros de la ciudad capital. Tiene una extensión territorial de 132 kilómetros cuadrados.

1.2.2. Ubicación geográfica y colindancias

El municipio de Mixco colinda al norte con el municipio de San Pedro Sacatepéquez, al sur con el municipio de Villa Nueva, al este con los municipios de Chinautla y Guatemala y al oeste con los municipios de San Lucas y Santiago Sacatepéquez.

En el espacio geográfico Mixco se encuentra ubicado en la latitud norte 14 grados 16 minutos y en la longitud oeste 90 grados 34 minutos, situado a una altitud de 1 650 metros sobre el nivel del mar.

1.2.3. Accesos y comunicaciones

La principal carretera que atraviesa el municipio es la ruta nacional 1 o Interamericana CA-1 que conduce a la frontera con México. La ruta nacional 5 que de la ciudad de Guatemala conduce al Petén atraviesa en parte el municipio.

1.2.4. Aspectos climatológicos e hidrográficos

El clima guarda características templadas y en algunas regiones características semi secas. La estación meteorológica del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), que es la más cercana al municipio, registra: temperatura media anual de 18,30 grados centígrados, temperatura máxima media 24,50 grados centígrados, temperatura mínima promedio 14,00 grados centígrados, precipitación pluvial promedio al año 1 196,80 milímetros, días de lluvia al año 138, humedad relativa media 78 por ciento, evaporación media a la intemperie 120,20 milímetros, presión atmosférica media 640,50 milímetros de mercurio, brillo solar promedio 203,60

horas al año. El período en que las lluvias son más frecuentes es de mayo a noviembre, variando en intensidad según la situación.

1.3. Características económicas

Se cosechan gran cantidad de granos, especialmente maíz y frijol. El chocolate que se elabora ha tenido gran aceptación en la capital, así como la carne y productos de ganado vacuno y porcino destazado. Entre las principales industrias está la elaboración de jabón, fábricas de licores y tenerías.

1.4. Características socioculturales

Mixco es un municipio con características socioculturales muy diversas que pueden variar significativamente en áreas muy cercanas y a veces hasta colindantes.

1.4.1. Población

Según los datos del censo general de población de 1950 Mixco contaba con un total de 11 784 habitantes, correspondiendo a la población urbana 4 181 y al área rural 7 653. En 1986 el municipio de Mixco tenía una población de 297 387 habitantes. La información del último censo del Instituto Nacional de Estadística (INE), indica que en el 2002 habían 403 689 habitantes, en una superficie de 132 kilómetros cuadrados de extensión territorial, lo que equivale a 3 058 habitantes por kilómetro cuadrado.

El desarrollo urbanístico del municipio de Mixco de los últimos años y la tendencia de la tasa de crecimiento de estudios anteriores, indicaban que a 1993 aproximadamente el 85 por ciento del espacio habitacional estaba

construido en el municipio. Lo anterior, aunado a los registros catastrales y las proyecciones migratorias, permiten proyectar que en la actualidad habitan en el municipio aproximadamente 800 000 personas o más. Esto significa que la demanda de servicios públicos cada día se incrementa.

Sin embargo, el aumento de la población difiere del crecimiento económico que en teoría debería darse, debido a múltiples razones, entre las más relevantes se puede mencionar que muchos de los habitantes utilizan el municipio como dormitorio, ya que su actividad laboral o económica la realizan en otras jurisdicciones.

1.4.1.1. Tasa de crecimiento poblacional

La tasa de crecimiento poblacional del municipio de Mixco, Guatemala, se encuentra aproximadamente en el rango del 4 por ciento.

1.4.2. Educación

Los servicios de educación en Mixco se prestan actualmente a través de centros educativos oficiales y privados. Los cursos impartidos van desde la pre-primaria hasta el nivel universitario. Existen escuelas en cada colonia, sin embargo, se hace notar la falta de infraestructura, mobiliario y equipo para realizar labores de enseñanza.

1.4.3. Servicios básicos existentes

Mixco es un municipio que cuenta con los siguientes servicios básicos:

- Agua potable: la gran mayoría de colonias del municipio cuentan con redes de distribución de agua captada de pozos y almacenada para su distribución. Sin embargo, por el crecimiento poblacional del municipio muchas de estas redes ya están obsoletas y no cubren de manera adecuada la demanda poblacional.
- Salud: el municipio no cuenta con ningún hospital público; sin embargo, se presta atención médica a la población a través de centros de salud.
- Energía eléctrica: servicio prestado por la Empresa Eléctrica de Guatemala.
- Teléfono: servicio prestado por TELGUA.
- Recreativos: la mayoría de colonias cuentan con canchas de baloncesto y fútbol.
- Religiosos: iglesias católicas y templos evangélicos.

1.5. Diagnóstico de las necesidades del municipio de Mixco, Guatemala

Existen en el municipio de Mixco diversas necesidades en cuanto a la cobertura de servicios básicos para la población, pero las principales detectadas fueron de agua potable y drenajes sanitarios ya que por la falta de estos servicios se ha visto perjudicada la salubridad en muchas comunidades.

1.6. Priorización de las necesidades del municipio de Mixco, Guatemala

Las principales necesidades de salubridad en el municipio de Mixco, se detectaron en las colonias Villas de Magnolia y Lo de Bran, ya que son colonias que no cuentan con un sistema de alcantarillado de aguas negras y los pobladores sufren la proliferación de enfermedades por la falta de evacuación de estas aguas.

2 . CRITERIOS DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO

2.1. Descripción de un sistema de alcantarillado sanitario

El sistema de alcantarillado sanitario, es el conjunto de obras que se utilizan para conducir las aguas servidas desde donde son producidas hasta el desfogue. El sistema de alcantarillado sanitario está compuesto por: candelas domiciliarias, pozos de visita, línea de conducción principal, sistema de tratamiento y desfogue. Las características de estas obras asignadas al proyecto dependerán de las condiciones en las que el sistema vaya a ser diseñado.

2.1.1. Especificaciones generales

Los sistemas de alcantarillado sanitario se diseñan como sistemas por gravedad, con los conductos funcionando como canales parcialmente llenos.

El análisis del flujo hidráulico se realiza conservadoramente utilizando la ecuación de Manning. En general, para simplificar el diseño del sistema de alcantarillado, es aceptable asumir condiciones constantes de flujo aunque la mayoría de los sistemas de alcantarillado funcionan con caudales sumamente variables, por esta razón, se diseñan con la consideración del flujo a superficie libre.

La ecuación de Manning para flujos a superficie libre es la siguiente:

$$Q = \frac{Ar^{2/3}S^{1/2}}{n}$$

Donde:

- Q = caudal (m³/s)
- A = área hidráulica de la tubería (m²)
- r = radio hidráulico, m; $r = D_i/4$
- n = coeficiente de rugosidad de Manning
- D_i = diámetro interior del tubo (m)
- S = pendiente hidráulica (m/m)

La pendiente hidráulica se obtiene dividiendo la diferencia de altura entre dos puntos respecto a la distancia horizontal o separación entre ellos. Es decir:

$$S = \frac{H_1 - H_2}{L}$$

Donde:

- H₁ = elevación aguas arriba (m)
- H₂ = elevación aguas abajo (m)
- L = longitud horizontal entre puntos (m)

2.1.2. Línea de conducción principal

La línea de conducción principal se diseña tratando de conservar la pendiente del terreno siempre y cuando utilizando esta obtengamos una velocidad entre 0,40 y 4,00 metros por segundo y una relación de tirantes d/D entre 0,10 y 0,75, según las normas del Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM), el diámetro varía dependiendo el volumen del flujo pero se debe utilizar el menor diámetro posible por economía del proyecto.

2.1.3. Tipos de tubería

Existen diferentes tipos de tubería que se pueden emplear para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario, pero las más utilizadas son las tuberías de concreto y las de cloruro de polivinilo (PVC).

2.1.3.1. Tubería de concreto

A continuación se enlistan las principales características, ventajas y usos por las que las tuberías de concreto son utilizadas y escogidas para los sistemas de alcantarillado sanitario.

2.1.3.1.1. Características

Para la elaboración de la tubería de concreto se utiliza la siguiente materia prima: cemento, agregados finos y gruesos (arenas y piedras), malla para refuerzo y agua. El tubo de concreto es rígido y posee una elevada resistencia estructural que le garantiza mayor carga que cualquier otra tubería, por esta razón puede estar sometido a grandes cargas concentradas ya que su capacidad de carga aumenta el doble debido a la presión activa del terreno.

2.1.3.1.2. Ventajas y usos

Son muchas las fortalezas por las cuales las tuberías de concreto se han mantenido durante largos años como las preferidas e ideales para la conducción de drenajes. Algunas ventajas que podemos mencionar son la resistencia, confiabilidad y longitud, pero quizás la razón principal que le ha otorgado la categoría de líder es su durabilidad estimada en cien años o más.

Otras aplicaciones del concreto se encuentran en las represas y diques urbanos, todo ello por ventajas como la resistencia, la cual se podría llamar la principal diferencia con el tubo de polietileno.

Por otro lado, la longitud es sin duda alguna otra ventaja de los tubos de concreto, ya que se fabrican en longitudes más pequeñas en comparación con la mayoría de los productos flexibles, esto resulta ventajoso durante la instalación porque permite trabajar con una caja de zanjas más pequeña y una excavación menos abierta.

2.1.3.2. Tubería de cloruro de polivinilo (PVC)

La tubería de cloruro de polivinilo ha sido desarrollada bajo el concepto de tubería flexible de doble pared estructurada, fabricada mediante un proceso de extrusión. Esto permite obtener una pared interna lisa que garantiza alto desempeño hidráulico, una pared externa corrugada que asegura un alto valor de rigidez, y por tanto, un óptimo comportamiento estructural, y un sistema de unión por medio de sellos elastoméricos que garantizan su hermeticidad. Se fabrica en diámetros nominales de 100 milímetros (4 pulgadas) hasta 600 milímetros (24 pulgadas).

2.1.3.2.1. Características

Las principales características que aseguran confiabilidad, facilidad, rapidez y economía de la tubería de cloruro de polivinilo, son las siguientes:

- Excelente comportamiento mecánico por el diseño óptimo de la doble pared que permite alcanzar un alto grado de rigidez.
- Una superficie interna lisa que permite mayor capacidad hidráulica que tuberías de otros materiales, evita la aparición de incrustaciones y tuberculización.
- Hermeticidad; el diseño del sistema de unión entre tramos de tubería o tubería y accesorios evita la infiltración y exfiltración haciéndolo un sistema estanco.
- Alta resistencia al impacto que permite que el tubo no se dañe durante el transporte, almacenamiento o instalación.
- Resistencia al ataque de sustancias químicas.
- Resistencia a la corrosión química y electroquímica por estar fabricada con material inerte y no conductor.
- Resistencia a la abrasión; las características del material y la superficie libre de sus paredes internas evitan el desgaste generado por los sólidos contenidos en los fluidos transportados.

- Flexibilidad; por su junta con empaque de hule, el sistema puede absorber asentamientos diferenciales, deflexiones horizontales y verticales menores, movimientos telúricos y contracciones o dilataciones por cambios de temperatura.
- Menor peso, lo que facilita su manejo, transporte y almacenamiento en comparación con otros tipos de tuberías.

2.1.3.2.2. Ventajas y usos

Su variedad de diámetros permite utilizarla en colectores principales, líneas secundarias y domiciliarias. Pueden ser empleadas también en conducciones para sistemas de riego y en general en sistemas de tuberías enterradas que transportan fluidos a superficie libre (como canal abierto).

Por sus características, la tubería permite:

- Rapidez de instalación, por la longitud de los tubos y su diseño de junta rápida.
- Disminuir volúmenes de excavación, relleno y compactación.
- Manejar e instalar el sistema sin utilizar equipo mecánico.
- Contar con sistemas de larga vida útil y bajos costos de mantenimiento.
- No contaminar acuíferos y evitar la intrusión de raíces o de sustancias ajenas al sistema.

- Optimizar los costos de transporte y almacenamiento.

2.1.4. Pozos de visita

El pozo de visita es una estructura utilizada en alcantarillados sanitarios para:

- Redireccionar el flujo de agua de los distintos puntos de cambio de alineamiento vertical u horizontal de los sistemas de alcantarillado sanitario.
- Operación de inspección y mantenimiento del sistema sanitario.

Consiste en una cámara fabricada de polietileno para ser instalada bajo la superficie del terreno.

2.1.4.1. Características

Resistencia: sus paredes resisten altas profundidades de instalación. Los registros están diseñados para ser usados bajo cargas vivas en áreas de tráfico, siempre y cuando la instalación haya sido efectuada correctamente.

Eficiencia hidráulica: su base especialmente diseñada promueve el movimiento del fluido eliminando la turbulencia y el almacenamiento de desperdicios encontrados frecuentemente en registros de otro tipo.

2.1.4.2. Dimensiones

Los pozos de visita se fabrican en secciones de distintas dimensiones, su ancho es de 1,00 metro aproximadamente.

2.1.4.3. Criterios para un diseño eficiente

Hidráulicos: para mejorar el flujo de agua dentro del pozo de visita, deben construirse con una pendiente del 3 por ciento en la base del pozo, lo que genera un cambio en la cota de entrada y salida del pozo de visita.

Estructurales: debe tomarse en cuenta que el pozo de visita funciona como una formaleta muerta. Las cargas de servicio deberán ser absorbidas por los materiales de relleno a una adecuada compactación.

2.1.4.4. Excavación y dimensiones

La excavación deberá ser lo suficientemente amplia para permitir un acomodo correcto de los pozos y del material de relleno para garantizar un adecuado soporte lateral. Deberá tomarse en cuenta que una zanja angosta hace difícil el ensamble y la correcta instalación de los pozos. Además, la poca amplitud limita la compactación del material alrededor del pozo de visita. Cuando los pozos de visita que se instalan tienen un ancho de 1,00 metro (39,37 pulgadas) el ancho mínimo de la excavación recomendado es de 1,60 metros (63,00 pulgadas).

El material producto de la excavación deberá colocarse a un costado de la excavación, a una distancia no menor de 60 centímetros del borde y la altura del montículo no mayor a 1,25 metros para evitar que la carga produzca

derrumbes en la excavación. Como regla general, no deben excavarse con mucha anticipación a la colocación del pozo, para evitar deterioro del trabajo de excavación.

2.1.4.5. Cama de apoyo o base

Según el tipo de suelo encontrado en el fondo de la excavación, éste deberá ser sustituido si el suelo es arcilloso u orgánico por un suelo granular, limo, arenoso o triturado de cantera. El pozo debe descansar sobre un lecho de material uniforme y estable bien compactado, proporcionándoles así, un adecuado y uniforme soporte, manteniendo la pendiente y el alineamiento de todo el colector. Si el material producto de la excavación es compactable, podrá utilizarse colocándolo en una capa con un espesor mínimo de 30,00 centímetros.

En caso que el fondo de la zanja sea de roca u otro material punzo cortante, será necesario formar una cama de arena, material selecto o concreto, para evitar la concentración de esfuerzos en las paredes del pozo. Si hay presencia de agua en el fondo de la zanja, se deberá colocar a manera de filtro una capa de piedra o grava con un espesor de 15,00 centímetros. El tamaño del agregado no debe ser mayor de 12,00 milímetros, sobre esta capa se colocará posteriormente la cama de apoyo.

2.1.4.6. Colocación

La instalación de los pozos deberá hacerse siguiendo los siguientes pasos:

- El armado de los pozos deberá realizarse fuera de la zanja, para instalarlos luego, completamente armados.
- Los pozos son suministrados en secciones de distintas longitudes; sin embargo, es frecuente cortar las secciones para alcanzar las alturas exactas de cada pozo. Los cortes deben hacerse lo más recto posible.
- Se hacen cortes necesarios en las extensiones o piezas a colocar para lograr la altura deseada del pozo, eliminando los rebordes con una lima.
- Las piezas se alinean y luego se acoplan una pieza con otra. Para realizar esta operación es necesario utilizar una carga uniforme sobre el perímetro del pozo.

2.1.4.7. Relleno y compactación

El relleno de la excavación deberá realizarse luego de la colocación de los pozos completamente armados. El material de relleno no deberá ser lanzado desde alturas superiores a 1,50 metros y deberá estar libre de elementos de gran tamaño y peso. De esta manera, se disminuye el riesgo de que el pozo sufra algún daño.

El relleno deberá efectuarse en capas de 30,00 centímetros teniendo cuidado de hacerlo perimetralmente, con el objeto de mantener el alineamiento vertical del pozo. Para ello, se utilizará material granular fino o material seleccionado de la excavación, apisonándolos hasta alcanzar el grado de compactación especificado en el diseño.

2.1.4.8. Ubicación de pozos de visita

Los pozos de visita siempre son necesarios en el lugar donde concurren dos o más tuberías, así como también en los lugares donde hay cambio de dirección o de pendiente en la línea central de diseño. Éstos son parte de las obras accesorias de un alcantarillado y son empleados como medios de inspección y limpieza. Según las normas para construcción de alcantarillados, se recomienda colocar pozos de visita en los siguientes casos:

- En toda intercepción de colectores.
- Al comienzo de todo colector.
- En cambios de dirección o de pendiente.
- En cambios de sección o diámetro.
- A distancias no mayores de 100,00 metros en línea recta en diámetros hasta de 24 pulgadas.

2.1.5. Conexiones domiciliarias

Las conexiones domiciliarias tienen la finalidad de descargar las aguas provenientes de las casas y llevarlas al alcantarillado central. Constan de las siguientes partes:

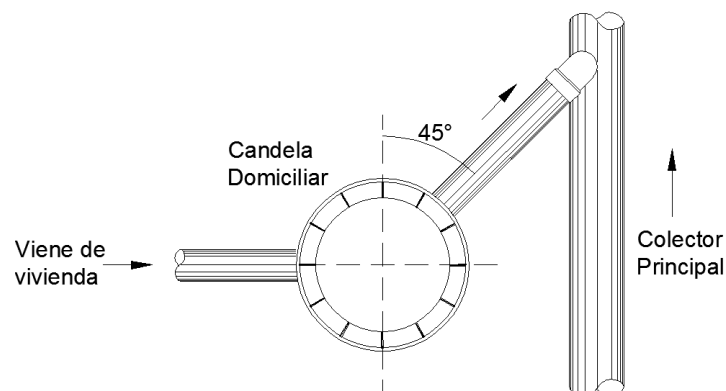
- Caja o candela domiciliar: la conexión se realiza por medio de una caja de inspección, construida de mampostería o con tubos de concreto colocados verticalmente. El lado menor de la caja será de 45,00 centímetros, si fuese

circular tendrá un diámetro no menor de 12,00 pulgadas; debe estar impermeabilizada por dentro y tener una tapadera para realizar inspecciones.

- Tubería secundaria: la conexión de la candela domiciliar con la tubería central se hará por medio de la tubería secundaria, la cual tiene un diámetro de 6,00 pulgadas en tubería de concreto y de 4,00 pulgadas en tubería de PVC. Debe tener una pendiente mínima del 2 por ciento para evacuar adecuadamente el agua. La conexión con la alcantarilla central se hará en el medio diámetro superior, a un ángulo de 45 grados aguas abajo.

Al realizar el diseño del alcantarillado deben considerarse las alturas en las cuales se encuentran las casas con relación a la alcantarilla central, a fin de no profundizar demasiado la conexión domiciliar. Sin embargo, en algunos casos esto resulta imposible por la topografía del terreno, debiendo considerar otras formas de realizar dicha conexión.

Figura 1. Conexiones domiciliares



Fuente: elaboración propia.

2.1.6. Desfogue

Según el Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos aprobado según el acuerdo gubernativo 236-2006 de fecha 5 de mayo de 2006, el desfogue de cualquier sistema de alcantarillado sanitario debe tener siempre algún tipo de tratamiento con el objetivo de cumplir con los valores máximos permitidos de parámetros como temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos, fósforo, etc.

2.2. Topografía

La constituyen la planimetría y la altimetría, las cuales son base fundamental para todo proyecto de ingeniería, tales como: proyectos viales, abastecimientos de agua potable, drenajes, construcción, etc.

La topografía sirve para obtener libretas de campo, que posteriormente reflejarán las condiciones del lugar, donde se ejecutará el proyecto. En un levantamiento topográfico nunca es tomada en consideración la curvatura de la esfera terrestre. Existen tres órdenes para clasificar los levantamientos topográficos: de primer orden, de segundo orden y de tercer orden respectivamente.

Tabla I. **Clasificación del levantamiento topográfico**

Orden de clasificación	Planimetría	Altimetría
Primer orden	Teodolito	Nivel de precisión
Segundo orden	Teodolito	Taquimétrico
Tercer Orden	Brújula y cinta	Nivel de mano

Fuente: elaboración propia.

2.2.1. Altimetría

Es la medición de las alturas de una superficie de la tierra, con el fin de representar gráficamente junto con la planimetría, la superficie en estudio en tres dimensiones. Para la realización de los trabajos de altimetría se puede utilizar el siguiente equipo:

- Nivel de precisión
- Trípode
- Estadal
- Cinta métrica

2.2.2. Planimetría

Esta se define como el conjunto de trabajos necesarios para representar gráficamente la superficie de la tierra, tomando como referencia el norte para su mejor orientación.

En la medición de la planimetría se puede utilizar el método de conservación de azimut. Este consiste en tomar un azimut inicial referido al norte y fijarlo con una vuelta de campana. En la vista atrás se toma la medida hacia la siguiente estación, se toman puntos intermedios entre estación y estación cada 20,00 metros, así como también puntos de referencia en accidentes geográficos (pozos de visita, postes de luz, etc.).

Para la realización de los trabajos de planimetría y señalización en campo de la topografía se puede utilizar el equipo siguiente:

- Teodolito
- Trípode
- Estadal
- Plomadas
- Cinta métrica
- Estacas y clavos

2.3. Diseño de la red de distribución

Para poder diseñar una red de distribución, se deben conocer algunos datos importantes como: período y población de diseño, dotación de agua potable, factor de retorno y de flujo y caudal sanitario.

2.3.1. Período de diseño

Este período variará de acuerdo a diferentes factores:

- Vida útil de las estructuras, tomando en cuenta: antigüedad, desgaste y daño en el sistema.
- Crecimiento poblacional.

- Capacidad de administración, operación y mantenimiento.
- Desarrollo de la obra en sus primeros años.

Recomendaciones:

Colector principal.....	30 - 40 años
Planta de tratamiento.....	20 - 30 años
Línea de descarga.....	10 -15 años
Equipo electro-mecánico.....	8 - 10 años

Según el criterio del diseñador y basándose en datos de instituciones como el Instituto de Fomento Municipal (INFOM); en el capítulo 2 de las normas generales para el diseño de alcantarillado en el inciso 2.2.1, dice: los sistemas de alcantarillado serán proyectados para llenar adecuadamente su función durante un período de 30 a 40 años a partir de la fecha en que se desarrolle el diseño.

2.3.2. Población de diseño

Para el cálculo de la población se debe tomar el período de diseño correspondiente. Se puede utilizar cualquier método apropiado para la estimación de crecimiento poblacional.

El sistema de alcantarillado debe adecuarse a un funcionamiento eficiente durante un período determinado. Para encontrar la cantidad de habitantes que utilizarán el servicio en el período establecido, generalmente se utiliza el método de incremento geométrico:

$$P_f = P_o(1 + r)^n$$

Donde:

P_f = Población futura

P_o = Población inicial o actual

r = Tasa de crecimiento

n = Período de diseño

Utilizando el método geométrico se evalúa el crecimiento de la población a servir, y se encuentran los porcentajes de las tasas de crecimiento.

2.3.3. Dotación de agua potable

La dotación está en función de la categoría de la población que será servida, varía de 50 a 300 litros por habitante por día.

Municipalidades de 3^a. a 4^a. categoría: 50 litros por habitante por día

Municipalidades de 2^a. categoría: 90 litros por habitante por día

Municipalidades de 1^a. categoría: 250-300 litros por habitante por día

2.3.4. Factor de retorno

En las viviendas el agua tiene diferentes usos. Todos esos usos han sido cuantificados por diferentes instituciones, como la Asociación Guatemalteca de Ingenieros Sanitarios y Ambientales y la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, las cuales han establecido datos en lo referente a factores de consumo de agua como: lavado de utensilios, baños,

preparación de alimentos, lavado de ropa, bebidas, que se dirige directamente al sistema de alcantarillado.

Gracias a esto, se ha podido estimar que, del total de agua que se consume dentro de las viviendas, solamente de un 70 a un 90 por ciento se descarga al drenaje, lo cual constituye el caudal domiciliar.

2.3.5. Factor de flujo o de Harmond

Es el valor estadístico, que determina la probabilidad del número de usuarios que estarán haciendo uso del servicio. Está dado de la siguiente manera:

$$FH = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

Donde:

P = Población acumulada en miles

2.3.6. Caudal sanitario

El caudal sanitario se obtiene de sumar el caudal domiciliar, más el caudal comercial, más el caudal industrial, más el caudal de conexiones ilícitas, más el caudal de infiltración.

2.3.6.1. Caudal domiciliar

Es el agua que ha sido utilizada para limpieza o producción de alimentos, que es desechada y conducida a la red de alcantarillado. El agua de desecho doméstico está relacionada con la dotación y suministro de agua potable. Una parte de ésta no será llevada al alcantarillado, como la de los jardines y lavado de vehículos, de tal manera que el valor del caudal domiciliar está afectado por un factor de retorno, el cual queda integrado de la siguiente manera:

$$Q_{\text{dom}} = \frac{\text{Dot} \times \text{No. Hab.} \times \text{FR}}{86\ 400}$$

Donde:

- Dot = Dotación (l/hab/día)
- No. Hab. = Número de habitantes
- Q_{dom} = Caudal domiciliar (l/s)
- FR = Factor de retorno

2.3.6.2. Caudal comercial

Es el agua que se desecha de los comercios como: restaurantes, hoteles, etc. Por lo general la dotación comercial varía según el establecimiento a considerar, pero puede estimarse entre 600 a 3000 litros por comercio por día.

$$Q_{\text{com}} = \frac{\text{No. Com.} \times \text{Dot}}{86\ 400}$$

Donde:

Q_{com} = Caudal comercial

Dot = Dotación (l/comercio/día)

No. Com. = Número de comercios

2.3.6.3. Caudal industrial

Es el agua negra proveniente de las industrias como: fábricas de textiles, licoreras, alimentos, etc. Si no se cuenta con un dato de dotación de agua suministrada se puede estimar entre 16 000 y 18 000 litros/industria/día, el cual dependerá del tipo de industria.

$$Q_{ind} = \frac{\text{No. .Ind.} \times \text{Dot}}{86\ 400}$$

Donde:

Q_{ind} = Caudal industrial

Dot = Dotación (l/industria/día)

No. Ind. = Número de industrias

2.3.6.4. Caudal de conexiones ilícitas

Es producido por las viviendas que conectan las tuberías del sistema del agua pluvial al alcantarillado sanitario. Se estima un porcentaje de viviendas que pueden realizar conexiones ilícitas que varía de 0,50 a 2,50 por ciento.

$$Q_{ci} = \frac{\text{Dot}_{iii} \times \text{No. hab.}}{86\ 400}$$

Basándose en datos de instituciones como el Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM), según el capítulo 2 de las normas generales para el diseño de alcantarillado en el inciso 2.8 dice: caudal ilegal por aguas de lluvia que se conecten en patios o bajadas de techos por error; por este concepto se agregará un 10 por ciento del caudal doméstico. Sin embargo en áreas donde no hay drenaje pluvial podrá usarse un valor más alto.

2.3.6.5. Caudal de infiltración

Es el caudal que se infiltra en la alcantarilla, el cual depende de las profundidades del nivel freático del agua y de la profundidad, de la permeabilidad del terreno, el tipo de junta, la calidad de mano de obra utilizada y la supervisión técnica de la construcción.

Puede calcularse de dos formas: en litros diarios por hectárea o en litros diarios por kilómetro de tubería. Debe sumarse la longitud de la tubería de las conexiones domiciliarias, asumiendo un valor de 6,00 metros por cada casa, la dotación de infiltración varía entre 12 000 y 18 000 litros por kilómetro por día.

$$Q_{inf} = \frac{\text{Dot} \times (\text{Lt} + \text{No. Cas.} \times 6) \times \frac{1}{1000}}{86\ 400}$$

Donde:

Q_{inf} = Caudal de infiltración

Dot = Dotación (l/km/día)

No. Cas. = Número de casas

Según las normas generales para el diseño de alcantarillado sanitario del INFOM, el caudal de infiltración por cada kilometro de tubería también puede calcularse de la siguiente manera:

Para tuberías de cemento: $Q_{inf} = 0,025 \times D$

Para tuberías de PVC: $Q_{inf} = 0,01 \times D$

Donde:

D = Diámetro (pul)

2.3.7. Caudal medio

Una vez obtenido el valor de los caudales anteriormente descritos, se procede a integrar el caudal medio (Q_{med}) del área a drenar. Se compone de los diferentes caudales que integran el sistema de alcantarillado sanitario. Estos caudales son los siguientes:

$$Q_{med} = Q_{dom} + Q_{com} + Q_{ind} + Q_{ci} + Q_{inf}$$

Donde:

Q_{med} = Caudal medio

Q_{dom} = Caudal domiciliar

Q_{com} = Caudal comercial

Q_{ind} = Caudal industrial

Q_{ci} = Caudal de conexiones Ilícitas

Q_{inf} = Caudal de infiltración

2.3.8. Factor de caudal medio

Al distribuir entre el número de habitantes, el caudal medio (Q_{med}) del área a drenar, se obtiene un factor de caudal medio (f_{qm}), el cual varía entre el rango de 0,002 a 0,005. Si el cálculo del factor se encuentra entre esos dos límites, se utiliza el calculado; en cambio si es inferior o excede, se utiliza el límite más cercano.

Por ejemplo, si da un valor menor se toma 0,002, y si fuese mayor se toma 0,005, considerando siempre que este factor no esté demasiado distante de los rangos máximo y mínimo establecidos, ya que podría quedar subdiseñado o sobrediseñado el sistema, según sea el caso. El valor del factor de caudal medio se calcula de la siguiente manera:

$$f_{qm} = \frac{Q_{med}}{\text{No. Hab.}}; \quad 0,002 < f_{qm} < 0,005$$

Donde:

Q_{med} = Caudal medio

f_{qm} = Factor de caudal medio

No. Hab. = Número de habitantes

Para facilitar la obtención del factor de caudal medio, las instituciones que se dedican al diseño de sistemas de alcantarillado sanitario han establecido valores de este factor con base en la experiencia. Tales valores se presentan en la tabla II.

Tabla II. Valores permitidos de factor de caudal medio

fqm	INSTITUCIÓN
0,0046	INFOM
0,0030	Municipalidad de Guatemala
0,002 – 0,005	DGOP

Fuente: elaboración propia.

2.3.9. Caudal de diseño

Para realizar la estimación de la cantidad de agua negra que transportará el alcantarillado en los diferentes puntos donde aquella fluya, primero se tendrán que integrar los valores que se describen en la fórmula siguiente:

$$q = \text{No. Hab.} \times \text{FH} \times \text{fqm}$$

Donde:

No. Hab. = Número de habitantes futuros acumulados

FH = Factor de Hardmon

fqm = Factor de caudal medio

Es importante mencionar que el flujo que se encauzará y circulará dentro de las tuberías al construirse el sistema con la población actual, será menor al que existirá en el sistema, cuando a éste se le incorporen futuras conexiones domiciliarias y otros caudales.

2.3.10. Diseño de secciones y pendientes

En el diseño, se usarán secciones circulares de PVC funcionando como canales abiertos. El cálculo de la capacidad, velocidad, diámetro y pendientes se hará aplicando la fórmula de Manning.

En las conexiones domiciliarias, el diámetro mínimo será de 4 pulgadas, con una pendiente mínima de 2 por ciento y una máxima de 6 por ciento. Asimismo, debe formar un ángulo horizontal con respecto a la línea central de aproximadamente 45 grados, en el sentido de la corriente del mismo. La profundidad mínima de coronamiento de la tubería con respecto a la superficie del terreno será de 1,00 metro, más el diámetro del tubo.

2.3.11. Diámetros mínimos

El diámetro mínimo a utilizar en los alcantarillados sanitarios será de 8 pulgadas para tubos de concreto o de 6 pulgadas para tubos de PVC. En las conexiones domiciliarias, el diámetro mínimo será de 6 pulgadas en concreto o de 4 pulgadas en PVC. En el último caso se usa un reductor de 4 a 3 pulgadas como protección de obstrucciones, a la entrada del registro domiciliar, el cual tendrá un diámetro mínimo de 12 pulgadas.

2.3.12. Velocidades máximas y mínimas de diseño

Los proyectos de alcantarillado de aguas negras deben diseñarse de modo que la velocidad mínima de flujo, trabajando a cualquier sección, sea 0,40 metros por segundo. No siempre es posible mantener esa velocidad, debido a que existen ramales que sirven a pocas casas y producen flujos bastante bajos.

En tales casos, se proporcionará una pendiente que dé la velocidad mínima de 0,40 metros por segundo, a la descarga máxima estimada.

Las velocidades mínimas fijadas no permiten la decantación de los sólidos, pero también las velocidades altas producen efectos dañinos, debido a que los sólidos en suspensión hacen un efecto abrasivo a la tubería. Por tal razón, se recomienda que la velocidad máxima del diseño sea de 4,00 metros por segundo en tubería de PVC. Las velocidades deberán estar dentro del rango siguiente:

$$0,40 < v < 4,00$$

2.3.13. Cálculo de Cotas Invert

Cuando a un pozo de visita entra una o varias tuberías y sale una tubería y todas tienen el mismo diámetro, las cotas invert se calculan de la siguiente manera:

$$CI = CT - (H_{\min} + Et + D)$$

$$CIE = CT - H_{\min}$$

$$CIS = CIE - 0,03$$

Donde:

- H_{min} = Altura mínima, que depende del tráfico
- CI = Cota Invert
- CT = Cota del terreno
- CIS = Cota Invert de salida
- CIE = Cota Invert de entrada
- Et = Espesor de tubería
- D = Diámetro de tubería

2.3.14. Factor de rugosidad

Es un valor adimensional y experimental, que indica cuán lisa o rugosa es la superficie interna de la tubería que se va a utilizar. Varía de un material a otro y se altera con el tiempo. Los valores de factor de rugosidad de algunas de las tuberías más empleadas en nuestro medio se presentan en la tabla III.

Tabla III. Factores de rugosidad (n)

MATERIAL	RUGOSIDAD
Superficie de mortero de cemento	0,011 – 0,030
Mampostería	0,017 – 0,030
Tubo de concreto Ø < 24"	0,011 – 0,016
Tubo de concreto Ø > 24"	0,013 – 0,018
Tubería de asbesto cemento	0,009 – 0,011
Tubería de PVC	0,006 – 0,011

Fuente: elaboración propia.

2.3.15. Profundidad de tubería

La colocación de la tubería debe hacerse a una profundidad en la cual no se vea afectada por las inclemencias del tiempo, principalmente por las cargas transmitidas por el tráfico; de este modo se evitarán rupturas en los tubos.

La profundidad mínima de la tubería, desde la superficie del suelo hasta la parte superior de la tubería, en cualquier punto de su extensión, será determinada de la siguiente manera:

Para tráfico normal (menor a 200 quintales) = 1,00 metros

Para tráfico pesado (mayor a 200 quintales) = 1,20 metros

La cota Invert mínima se calcula sumando la profundidad por tráfico, espesor del tubo y diámetro del tubo.

$$CI = H_{\min} + Et + D$$

Donde:

H_{\min} = Altura mínima, que depende del tráfico

Et = Espesor del tubo

D = Diámetro del tubo

Cuando la altura de coronamiento de la tubería con respecto a una profundidad mayor a 3,00 metros bajo la superficie del terreno, se diseñará una tubería auxiliar, sobre la principal para las conexiones domiciliarias.

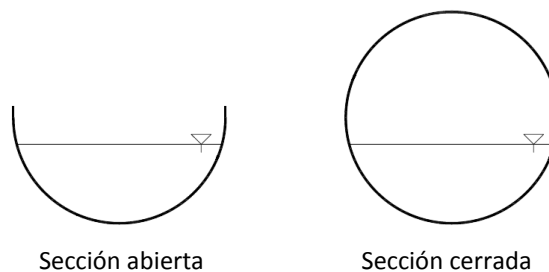
2.3.16. Principios hidráulicos

Las alcantarillas basan su funcionamiento en transportar el agua de desecho en conductos libres, que están en contacto con el aire, a los cuales se les conoce como canales.

El flujo queda determinado por la pendiente del canal y la superficie del material del cual está construido.

La sección del canal, como se muestra en la figura 2, puede ser abierta o cerrada. En el caso de los sistemas de alcantarillado, se emplean canales cerrados circulares, en donde la superficie del agua está sometida a la presión atmosférica y, eventualmente, a presiones producidas por los gases que se forman en el canal.

Figura 2. **Sección del canal**



Sección abierta

Sección cerrada

Fuente: elaboración propia.

2.3.16.1. Relaciones hidráulicas

Al realizar el cálculo de las tuberías que trabajan a sección parcialmente llena y poder agilizar de alguna manera los resultados de velocidad, área y caudal, perímetro mojado y radio hidráulico, se relacionan los términos de la

sección totalmente llena con los de la sección parcial. De los resultados obtenidos, se construyen las gráficas y las tablas, utilizando para esto la fórmula de Manning.

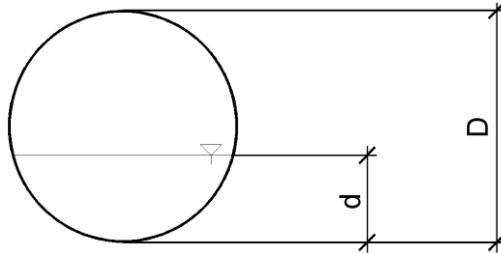
Se deben determinar los valores de la velocidad y caudal a sección llena por medio de las ecuaciones ya establecidas. Se procede a obtener la relación de caudales, el caudal de diseño entre caudal de sección llena (q/Q). El resultado obtenido se busca en la gráfica en el eje de las abscisas. Desde allí, se levanta una vertical hasta la curva de relaciones de caudales.

El valor de la relación d/D se obtiene en la intersección de la curva con la vertical, leyendo sobre el eje de las ordenadas. La profundidad del flujo (d) se obtiene multiplicando el valor obtenido por el diámetro de la tubería.

Para el valor de la relación (v/V), velocidad parcial entre velocidad a sección llena, se ubica el punto de intersección entre la vertical y la curva de relación de caudales que se estableció anteriormente; se traza una horizontal hasta llegar a interceptar la gráfica de velocidades. En este nuevo punto, se traza una vertical hacia el eje de las abscisas y se toma la lectura de la relación de velocidades. Ésta se multiplica por la velocidad a sección llena (V) y se obtiene la velocidad a sección parcial (v). De igual manera se calculan las otras características de la sección.

La utilización de las tablas se realiza determinando primero la relación q/Q , el valor se busca en las tablas, si no está el valor exacto, se busca uno que sea aproximado. En la columna de la izquierda se ubica la relación (v/V) y de la misma forma se debe multiplicar el valor obtenido por la velocidad a sección llena y se obtiene así la velocidad a sección parcial. En la tabla IV se muestran las relaciones hidráulicas para una alcantarilla de sección circular.

Figura 3. **Área de sección parcialmente llena**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la figura, D es el tirante a sección llena, y d es el tirante a sección parcial.

Se deben considerar las siguientes relaciones hidráulicas:

- $q < Q$
- La velocidad debe estar comprendida entre:
 $0,40 \leq v \leq 4,00$ (m/s)
 $0,40 \leq v$ para que exista fuerzas de atracción y arrastre de los sólidos
 $v \leq 4,00$ para evitar deterioro de la tubería debido a la fricción producida por velocidad y la superficie de la tubería.
- El tirante debe estar entre:
 $0,10 \leq d/D \leq 0,75$

La relación d/D no se cumple en muchas ocasiones debido a que existen ramales que sirven a pocas casas, pero la pendiente lo compensa. Con los anteriores parámetros se evita que la tubería trabaje a presión.

Tabla IV. **Relaciones hidráulicas sección circular**

d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q
0,0100	0,0017	0,088	0,00015	0,1025	0,05396	0,408	0,02202
0,0125	0,0237	0,103	0,00024	0,1050	0,05584	0,414	0,02312
0,0150	0,0031	0,116	0,00036	0,1075	0,05783	0,420	0,02429
0,0175	0,0039	0,129	0,00050	0,1100	0,05986	0,426	0,02550
0,0200	0,0048	0,141	0,00067	0,1125	0,06186	0,432	0,02672
0,0225	0,0057	0,152	0,00087	0,1150	0,06388	0,439	0,02804
0,0250	0,0067	0,163	0,00108	0,1175	0,06591	0,444	0,02926
0,0275	0,0077	0,174	0,00134	0,1200	0,06797	0,450	0,03059
0,0300	0,0087	0,184	0,00161	0,1225	0,07005	0,456	0,03194
0,0325	0,0099	0,194	0,00191	0,1250	0,07214	0,463	0,03340
0,0350	0,0110	0,203	0,00223	0,1275	0,07426	0,468	0,03475
0,0375	0,0122	0,212	0,00258	0,1300	0,07640	0,473	0,03614
0,0400	0,0134	0,221	0,00223	0,1325	0,07855	0,479	0,03763
0,0425	0,0147	0,230	0,00338	0,1350	0,08071	0,484	0,03906
0,0450	0,0160	0,239	0,00382	0,1375	0,08289	0,490	0,04062
0,0475	0,0173	0,248	0,00430	0,1400	0,08509	0,495	0,04212
0,0500	0,0187	0,256	0,00479	0,1425	0,08732	0,501	0,04375
0,0525	0,0201	0,264	0,00531	0,1450	0,08954	0,507	0,04570
0,0550	0,0215	0,273	0,00588	0,1475	0,09129	0,511	0,04665
0,0575	0,0230	0,271	0,00646	0,1500	0,09406	0,517	0,04863
0,0600	0,0245	0,289	0,00708	0,1525	0,09638	0,522	0,05031
0,0625	0,0260	0,297	0,00773	0,1550	0,09864	0,528	0,05208
0,0650	0,0276	0,305	0,00841	0,1575	0,10095	0,533	0,05381
0,0675	0,0292	0,312	0,00910	0,1600	0,10328	0,538	0,05556
0,0700	0,0308	0,320	0,00985	0,1650	0,10796	0,548	0,05916
0,0725	0,0323	0,327	0,01057	0,1700	0,11356	0,560	0,06359
0,0750	0,0341	0,334	0,01138	0,1750	0,11754	0,568	0,06677

Continuación de la tabla IV.

d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q
0,0775	0,0358	0,341	0,01219	0,180	0,12241	0,577	0,07063
0,0800	0,0375	0,348	0,01304	0,185	0,12733	0,587	0,07474
0,0825	0,0392	0,355	0,01392	0,190	0,13229	0,696	0,07885
0,0850	0,0410	0,361	0,01479	0,195	0,13725	0,605	0,08304
0,0875	0,0428	0,368	0,01574	0,200	0,14238	0,615	0,08756
0,0900	0,0446	0,375	0,01672	0,205	0,14750	0,624	0,09104
0,0925	0,0464	0,381	0,01792	0,210	0,15266	0,633	0,09663
0,2200	0,1631	0,651	0,10619	0,590	0,61400	1,070	0,65488
0,2250	0,1684	0,659	0,11098	0,600	0,62650	1,070	0,64157
0,2200	0,1631	0,651	0,10619	0,590	0,61400	1,070	0,65488
0,2300	0,1436	0,669	0,11611	0,610	0,63890	1,080	0,68876
0,2350	0,1791	0,676	0,12109	0,620	0,65130	1,080	0,70537
0,2400	0,1846	0,684	0,12623	0,630	0,66360	1,090	0,72269
0,2450	0,1900	0,692	0,13148	0,640	0,67590	1,090	0,73947
0,2500	0,1955	0,702	0,13726	0,650	0,68770	1,100	0,75510
0,2600	0,2066	0,716	0,14793	0,660	0,70050	1,100	0,77339
0,2700	0,2178	0,730	0,15902	0,670	0,71220	1,110	0,78913
0,3000	0,2523	0,776	0,19580	0,700	0,74770	1,120	0,85376
0,3100	0,2640	0,790	0,20858	0,710	0,75960	1,120	0,86791
0,3200	0,2459	0,804	0,22180	0,720	0,77080	1,130	0,88384
0,3300	0,2879	0,817	0,23516	0,730	0,78220	1,130	0,89734
0,3400	0,2998	0,830	0,24882	0,740	0,79340	1,130	0,91230
0,3500	0,3123	0,843	0,26327	0,750	0,80450	1,130	0,92634
0,3600	0,3241	0,856	0,27744	0,760	0,81540	1,140	0,93942
0,3700	0,3364	0,868	0,29197	0,770	0,52620	1,140	0,95321
0,3800	0,3483	0,879	0,30649	0,780	0,83690	1,390	0,97015
0,3900	0,3611	0,891	0,32172	0,790	0,85100	1,140	0,98906

Continuación de la tabla IV.

d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q
0,4000	0,3435	0,902	0,33693	0,800	0,86760	1,140	1,00045
0,380	0,3483	0,879	0,30649	0,78	0,8369	1,39	0,97015
0,390	0,3611	0,891	0,32172	0,79	0,8510	1,14	0,98906
0,400	0,3435	0,902	0,33693	0,80	0,8676	1,14	1,00045
0,410	0,3860	0,913	0,35246	0,81	0,8778	1,14	1,00045
0,440	0,4238	0,943	0,39963	0,84	0,8967	1,14	1,03100
0,450	0,4365	0,955	0,41681	0,85	0,9059	1,14	1,04740
0,460	0,4491	0,964	0,43296	0,86	0,9149	1,14	1,04740
0,480	0,4745	0,983	0,46647	0,88	0,9320	1,13	1,06030
0,490	0,4874	0,991	0,48303	0,89	0,9401	1,13	1,06550
0,500	0,5000	1,000	0,50000	0,90	0,9480	1,12	1,07010
0,510	0,5126	1,009	0,51719	0,91	0,9554	1,12	1,07420
0,520	0,5255	1,016	0,53870	0,92	0,9625	1,12	1,07490

Fuente: normas generales para diseño de alcantarillados del INFOM, 2001.

2.4. Evaluación de impacto ambiental

Es importante que todo proyecto de infraestructura vaya acompañado de una evaluación de impacto ambiental, para que se puedan medir los daños que se ocasionarán al medio ambiente.

2.4.1. Definición

Un estudio de evaluación de impacto ambiental es un documento que describe las características de un proyecto o actividad que se pretenda llevar a cabo o su modificación. Debe proporcionar antecedentes fundados para la

predicción, identificación e interpretación de su impacto ambiental y describir la o las acciones que ejecutará para impedir o minimizar sus efectos significativamente adversos.

2.4.2. Aspectos cubiertos por estudios de impacto ambiental

- Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de los efluentes, emisiones o residuos.
- Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.
- Localización próxima a población, recursos y áreas protegidas susceptibles de ser afectados, así como el valor ambiental del territorio en que se pretende emplazar.
- Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona.
- Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

2.4.3. Evaluación ambiental de proyectos

La Ley N° 19.300 sobre bases generales del medio ambiente, dictada en 1994, establece exigencias ambientales para los proyectos de inversión y determina cuáles de ellos deben someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), a través de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o

de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Esta decisión es responsabilidad final de la Comisión Regional o Nacional del Medio Ambiente, según corresponda, así como la administración del sistema y la coordinación de los organismos del Estado involucrados para los efectos de obtener los permisos o pronunciamientos requeridos.

2.4.4. Seguimiento ambiental

Es de suma importancia seguir con las condiciones propuestas por el estudio de impacto ambiental, ya que, al darle continuidad se obtendrán mejores resultados. Además, pueden evitarse situaciones que podrían provocar problemas en futuros cercanos.

3 . DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA COLONIA VILLAS DE MAGNOLIA

3.1. Diseño de la red de distribución

Este proyecto consiste en el diseño del alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia Mixco, Guatemala. Dicha necesidad se identificó investigando la problemática que viven los pobladores a raíz de la falta de este elemental servicio. La red a diseñar presenta una longitud de 1 900,00 metros, para los cuales se diseñaron 33 pozos de visita y 41 conexiones domiciliarias. La tubería a utilizar será PVC, Norma ASTM D-3034 y tendrá un diámetro de 6 pulgadas. Las pendientes de la tubería se tomaron de acuerdo a las pendientes del terreno, evitando rebasar las velocidades y caudales permitidos. El desfogue se realizará a una fosa séptica, la cual desemboca en el río.

En los anexos del presente trabajo se encuentran las tablas de cálculo del proyecto completo; sin embargo, para fines ilustrativos a continuación se desglosarán los cálculos del tramo PV-5 a PV-6.

- Cálculo de pendiente

$$c_o = 178,48 \text{ m}$$

$$c_f = 176,28 \text{ m}$$

$$S = \left(\frac{C_o - C_f}{DH} \right) \times 100$$

$$S = \left(\frac{178,48 - 176,28}{72,99} \right) \times 100$$

$$S = 3,01\%$$

- Período de diseño

Para el proyecto se tomó un período de diseño de 30 años por ser el tiempo de vida útil del proyecto y por los recursos económicos con los que cuenta el municipio.

- Población de diseño

$$P_o = 102$$

$$P_f = P_o \times (1 + r)^n$$

$$P_f = 102 \times (1 + 4/100)^{30} = 331 \text{ habitantes}$$

- Dotación de agua potable

La Municipalidad de Mixco tiene establecida una dotación de 200 litros por habitante por día, por lo que esta fue la que se adoptó para el diseño de este sistema.

- Factor de retorno

Se aplicará un factor de retorno del 90 por ciento de acuerdo a lo permitido por la Asociación Guatemalteca de Ingenieros Sanitarios y Ambientales.

- Factor de flujo o de Harmond

Inicial:

$$FH = \left[\frac{18 + \sqrt{\frac{P_0}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{P_0}{1000}}} \right]$$

$$FH = \left[\frac{18 + \sqrt{\frac{102}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{102}{1000}}} \right]$$

$$FH = 4,24$$

Futuro:

$$FH = \left[\frac{18 + \sqrt{\frac{P_0}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{P_0}{1000}}} \right]$$

$$FH = \left[\frac{18 + \sqrt{\frac{331}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{331}{1000}}} \right]$$

$$FH = 4,05$$

- Caudal sanitario
 - Caudal domiciliar

Inicial:

$$Q_{\text{dom}} = \frac{\text{Dot} \times FR \times P_o}{86\ 400}$$

$$Q_{\text{dom}} = \frac{200 \times 0,90 \times 102}{86\ 400}$$

$$Q_{\text{dom}} = 0,2125 \text{ l/s}$$

Futuro:

$$Q_{\text{dom}} = \frac{\text{Dot} \times FR \times P_f}{86\ 400}$$

$$Q_{\text{dom}} = \frac{200 \times 0,90 \times 331}{86\ 400}$$

$$Q_{\text{dom}} = 0,6892 \text{ l/s}$$

- Caudal comercial

$$Q_{\text{com}} = 0 \text{ l/s}$$

- Caudal industrial

$$Q_{\text{ind}} = 0 \text{ l/s}$$

- Caudal de conexiones ilícitas

Inicial:

$$Q_{\text{ci}} = 25\% \times Q_{\text{dom}}$$

$$Q_{\text{ci}} = 0,25 \times 0,2125$$

$$Q_{\text{ci}} = 0,0531 \text{ l/s}$$

Futuro:

$$Q_{\text{ci}} = 25\% \times Q_{\text{dom}}$$

$$Q_{\text{ci}} = 0,25 \times 0,6892$$

$$Q_{\text{ci}} = 0,1723 \text{ l/s}$$

- Caudal de infiltración

$$Q_{\text{inf}} = 0,01 \times 6 \times 0,07299$$

$$Q_{\text{inf}} = 0,0044 \text{ l/s}$$

- Caudal medio

$$Q_{\text{med}} = Q_{\text{dom}} + Q_{\text{com}} + Q_{\text{ind}} + Q_{\text{ci}} + Q_{\text{inf}}$$

Inicial:

$$Q_{\text{med}} = 0,2125 + 0,0531 + 0,0044$$

$$Q_{\text{med}} = 0,27 \text{ l/s}$$

Futuro:

$$Q_{\text{med}} = 0,6892 + 0,1723 + 0,0044$$

$$Q_{\text{med}} = 0,8659 \text{ l/s}$$

- Factor de caudal medio

Inicial:

$$f_{\text{qm}} = \frac{Q_{\text{med}}}{P_o}$$

$$f_{qm} = \frac{0,27}{102}$$

$$f_{qm} = 0,0026 \text{ l/hab/s}; \quad 0,002 < f_{qm} < 0,005$$

Futuro:

$$f_{qm} = \frac{Q_{med}}{P_f}$$

$$f_{qm} = \frac{0,8659}{331}$$

$$f_{qm} = 0,0026 \text{ l/hab/s}; \quad 0,002 < f_{qm} < 0,005$$

- Caudal de diseño

Inicial:

$$q = f_{qm} \times FH \times P_o$$

$$q = 0,0026 \times 4,2412 \times 102$$

$$q = 1,1265 \text{ l/s}$$

Futuro:

$$q = f_{qm} \times FH \times P_f$$

$$q = 0,0026 \times 4,0599 \times 331$$

$$q = 3,4977 \text{ l/s}$$

- Velocidad a sección llena

$$V = \frac{0,03429 \times D^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$V = \frac{0,03429 \times (6)^{\frac{2}{3}} \times (3,01)^{\frac{1}{2}}}{0,01}$$

$$V = 1,9656 \text{ m/s}$$

- Caudal a sección llena

$$Q = A \times V$$

$$Q = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \right) \times V$$

$$Q = \left[\frac{\pi}{4} \times (6 \times 0,0254)^2 \right] \times (1,9656 \times 1000)$$

$$Q = 35,8598 \text{ l/s}$$

- Relaciones hidráulicas

Relación de caudales:

$$q/Q = \frac{1,1265}{35,8598}$$

$$q/Q = 0,03141$$

De la tabla de relaciones hidráulicas se obtienen los siguientes resultados:

Relación de velocidades: $v / V = 0,444$

Relación de tirantes: $d / D = 0,1175$

Relación de áreas: $a / A = 0,07075$

- Velocidad a sección parcial

$$v = (v/V) \times V$$

$$v = 0,444 \times 1,9656$$

$$v = 0,873 \text{ m/s}$$

- Verificación de relaciones hidráulicas

$q < Q$ $3,4977 \text{ l/s} < 35,8598 \text{ l/s}$ Sí cumple.

$0,40 < v < 4,00$ $v = 0,873 \text{ m/s}$ Sí cumple.

$0,10 < d / D < 0,75$ $d / D = 0,1175$ Sí cumple.

3.2. **Diseño de fosa séptica**

El diseño de la fosa séptica se hizo con un periodo de retención de 12 horas para una dotación de 200 litros por habitante por día según la dotación establecida para el diseño del alcantarillado.

La fosa séptica se construirá en la desembocadura del pozo de visita número 12 en un terreno que es propiedad de la Municipalidad de Mixco.

$$Q = \text{dot} \times \text{No. Hab.}$$

Donde:

Q = Caudal

dot = Dotación

No. Hab. = Número de habitantes

$$Q = 200 \times 0,90 \times 1187$$

$$Q = 213\ 660 \text{ l/día}$$

$$\text{Vol} = Q \times T$$

Donde:

Vol = Volumen de fosa séptica

Q = Caudal

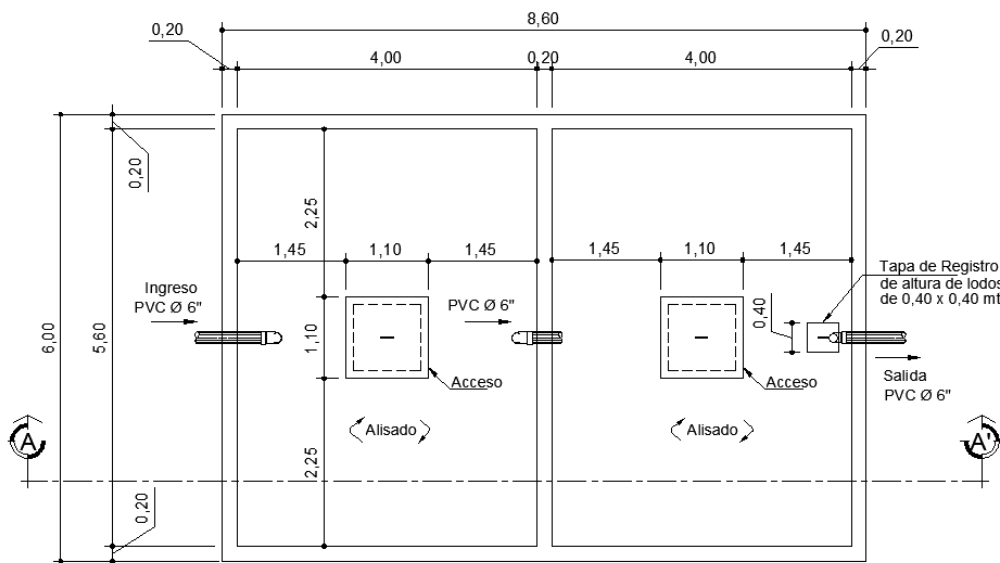
T = Tiempo de retención

$$\text{Vol} = 213,66 \times \frac{12}{24} \times 1$$

$$\text{Vol} = 106,83 \text{ m}^3$$

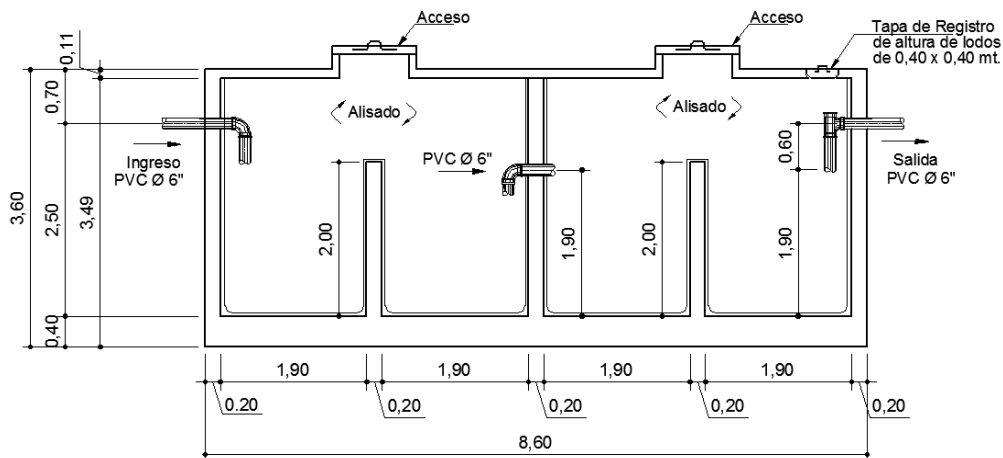
Se adoptó un volumen de 129,00 metros cúbicos. El mantenimiento de esta fosa séptica estará a cargo de los vecinos del sector los cuales deberán hacerle el mantenimiento y la limpieza respectiva cuando el nivel de lodos acumulados así lo amerite.

Figura 4. **Planta fosa séptica propuesta**



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad 2 010.

Figura 4. Corte A-A' fosa séptica propuesta



Fuente: elaboración propia, con programa Autocad 2 010

3.3. Presupuesto

Este fue elaborado en base al cómputo métrico de materiales y mano de obra a emplear. Para los diferentes renglones de que consta este proyecto se presupuestó por separado y en forma detallada los costos unitarios de: materiales, mano de obra, gastos administrativos e imprevistos, esto es, costos directos e indirectos.

Tabla V. Resumen del presupuesto del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	IMPORTE
1	TRABAJOS PRELIMINARES					Q40 798,20
1.01	TOPOGRAFÍA	Día	30	Q1 359,94	Q40 798,20	
2	CONSTRUCCIÓN DE COLECTORES					Q1 163 298,91

Continuación de la tabla V.

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	IMPORTE
2.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA (INCLUYE CORTE, CARGA Y ACARREO DE MATERIAL SOBRENTE)	m ³	3121,62	Q80,51	Q251 321,63	
2.02	INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC ø 6" (INCLUYE NIVELACIÓN DE ZANJA CON MATERIAL GRANULAR, INSTALACIÓN)	m	1910,87	Q155,94	Q297 981,07	
2.03	RELLENO POR CAPAS EN ZANJA CON MATERIAL GRANULAR	m ³	3089,6	Q198,73	Q613 996,21	
3	CONSTRUCCIÓN DE POZO DE VISITA					Q292 154,93
3.01	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 1,85 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	6	Q8 369,70	Q50 218,20	
3.02	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 1,88 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	16	Q8 414,06	Q134 624,96	
3.03	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 2,35 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	2	Q9 109,03	Q18 218,06	
3.04	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 2,38 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	2	Q9 153,39	Q18 306,78	
3.05	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 2,60 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q9 478,70	Q9 478,70	
3.06	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 2,73 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q9 670,93	Q9 670,93	
3.07	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 2,78 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q9 744,86	Q9 744,86	
3.08	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 2,83 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q9 818,80	Q9 818,80	

Continuación de la tabla V.

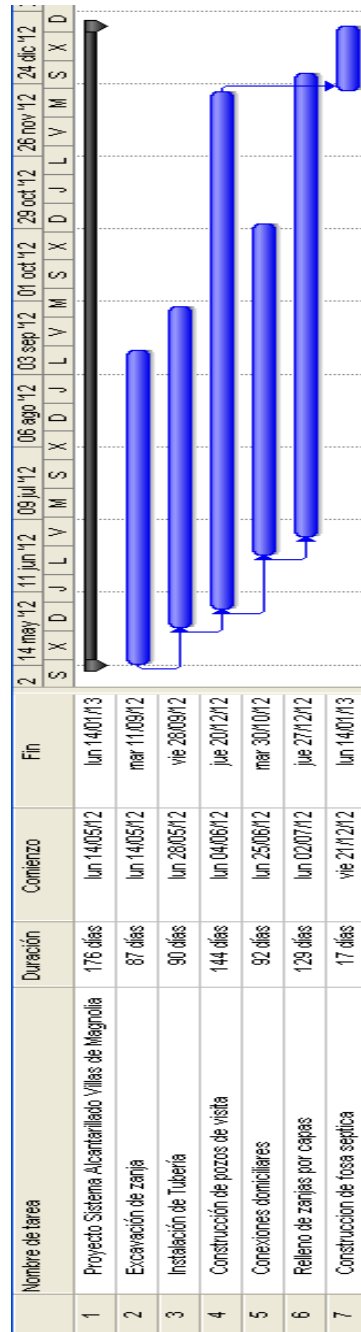
No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	IMPORTE
3.09	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 2,88 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q9 892,73	Q9 892,73	
3.1	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 3,53 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q10 853,87	Q10 853,87	
3.11	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 3,85 M (INCLUYE EXCAVACION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q11 327,04	Q11 327,04	
4	FOSA SEPTICA					Q125 667,67
4.01	INCLUYE EXCAVACION, FUNDICION, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO Y ACABADOS DE LA FOSA	m ²	51.6	Q2 435,42	Q125 667,67	
5	CANDELA DOMICILIAR					Q240 660,86
5.01	INCLUYE EXCAVACION, FUNDICION, COLOCACION DE TUBO Y CONEXIÓN AL COLECTOR	unidad	61	Q3 945,26	Q240 660,86	
TOTAL						Q1 862 580,57

Fuente: elaboración propia.

3.4. Cronograma de ejecución

El cronograma de actividades representado en un gráfico de Gantt, se realizó en base a proyectos similares de alcantarillado sanitario realizados con anterioridad en la Municipalidad de Mixco, en donde se han cronometrado y documentado todos los trabajos desglosadamente, tomando en cuenta el recurso humano y los recursos materiales y financieros.

Tabla VI. **Cronograma para la ejecución del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia**



Fuente: elaboración propia.

3.5. Evaluación socioeconómica

La evaluación socioeconómica se realizará para determinar la viabilidad del proyecto de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia según criterios de la Municipalidad de Mixco.

3.5.1. Valor Presente Neto (VPN)

Se calculará el Valor Presente Neto en base al pago único que se tendrá en este proyecto. La ecuación que se utilizará para el cálculo, será:

$$P = F \left[\frac{1}{(1+i)^N} - 1 \right]$$

Donde:

- P = Valor de pago único en el inicio de la operación
- F = Valor de pago único al final del período de la operación
- i = Tasa de interés de cobro por la operación
- N = Período que se pretende dure la operación

Como es un proyecto de inversión social, la Municipalidad absorberá el total del costo del proyecto pero la comunidad pagará Q. 5 000,00 por derecho de conexión de cada vivienda.

Datos del proyecto:

Costo total del proyecto = Q. 1 862 580,57
n = 30 años

$$i = 10\%$$

$$F = Q. 5\,000,00 * 61 = Q. 305\,000,00$$

$$VPN = -1\,862\,580,57 + 305\,000 \times \left[\frac{1}{(1+0,10)^{30} - 1} \right]$$

$$VPN = -1\,844\,038,86$$

El costo de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento no está integrado en los cálculos ya que este estará a cargo de los vecinos de la colonia Villas de Magnolia.

3.5.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

A través de esta herramienta se evaluará el rendimiento de la inversión. Debido a que este proyecto es de carácter social, es imposible obtener una Tasa Interna de Retorno (TIR) atractiva; por lo que el análisis socioeconómico se realizará a través de la relación costo/beneficio de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Costo} &= \text{Inversión inicial} + \text{VPN} \\ &= Q. 1\,832\,580,57 - Q. 1\,844\,038,86 = - Q. 348\,501,43 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beneficio} &= \text{No. de habitantes beneficiados (a futuro)} \\ &= 1\,187 \text{ habitantes} \end{aligned}$$

$$\text{Costo/beneficio} = \frac{348\,501,43}{1\,187} = Q. 293,60 / \text{Hab.}$$

El valor aceptado por la Municipalidad de Mixco es de hasta Q.1 500,00 por habitante, por lo que se concluye que este proyecto puede considerarse rentable.

3.6. Evaluación de impacto ambiental

La evaluación de impacto ambiental de este proyecto se hará a través de una matriz modificada de Leopold, la cual dará una noción certera del impacto que causará el proyecto al ambiente.

Tabla VII. **Matriz modificada de Leopold del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia**

ELEMENTOS AMBIENTALES	ETAPA de construcción			ETAPA de funcionamiento		
	A	B	N	A	B	N
I. MEDIO AMBIENTE						
1. Tierras						
a. Topografía			*			*
b. Suelo	-			-		
c. Erosión y sedimentación	-			-		
2. Microclima						
3. Aguas						
a. Ríos			*	-		
b. Aguas subterráneas			*			*
c. Calidad de Aguas			*	-		
4. Ecosistema						
a. Flora						
- Vegetación natural	-			-		
- Cultivos			*			*
b. Fauna						

Continuación de la tabla VII.

ELEMENTOS AMBIENTALES	ETAPA de construcción			ETAPA de funcionamiento		
	A	B	N	A	B	N
-Mamíferos y aves			*			*
- Peces organismos acuáticos			*			*
c. Biodiversidad						
- Peligro de extinción			*			*
- Especies migratorias						
5. Desastres naturales			*			*
II. MEDIO AMBIENTE SOCIO-ECONÓMICO						
1. Población						
a. Población en peligro			*			*
b. Reasentamiento			*			*
c. Poblaciones migratorias			*			*
2. Uso de la tierra			*			*
3. Uso del agua			*			*
4. Actividades productivas						
a. Agricultura			*			*
b. Pecuaria			*			*
c. Pesca			*			*
d. Agroindustria			*			*
e. Mercado y comercio		+			+	
5. Empleo		++			+	
6. Aspectos culturales			*		+	
7. Historia y arqueología			*			*
8. Turismo			*			*
III. PROBLEMAS AMBIENTALES						
1. Contaminación del aire	-					*
2. Contaminación del agua			*	-		
3. Contaminación del suelo	-					*

Continuación de la tabla VII.

ELEMENTOS AMBIENTALES	ETAPA de construcción			ETAPA de funcionamiento		
	A	B	N	A	B	N
4. Ruido y vibración	--					*
5. Hundimiento del suelo			*			*
6. Mal olor			*		++	

Fuente: elaboración propia.

Nomenclatura:

- ++ Impacto positivo grande
- + Impacto positivo pequeño
- * Neutro
- Impacto negativo pequeño
- Impacto negativo grande
- A Adverso
- B Benéfico
- N Neutro

Las medidas de mitigación que se deberán adoptar para desaparecer o minimizar el impacto negativo que pudiera ocasionar este proyecto al ambiente son:

- Medio ambiente

Tierra:

- El suelo será afectado negativamente en la etapa de construcción debido a excavación de zanja, pozos de visita y fosas sépticas.
- La erosión y sedimentación serán aspectos afectados negativamente durante la fase de construcción, por las zanjas excavadas para la instalación de tuberías.

Medidas de mitigación:

- El suelo extraído en la excavación, se incorporará de nuevo a las zanjas, debidamente compactado y el sobrante se esparcirá al terreno.
- El material de excavación, deberá analizarse si puede ser reciclado para una pronta reincorporación, ya que disminuirá la explotación de canteras y se evitará la utilización de áreas para su disposición.

- Aguas

Agua subterránea:

- Éstas se verán afectadas debido a la colocación de tubería y construcción de pozos de visita, con materiales como el PVC y el ladrillo.

Medidas de mitigación:

- La colocación de tubería se realizará siguiendo las instrucciones del encargado de la obra con las normas de calidad exigidas, y así minimizar la posibilidad de ruptura de la tubería y filtración en los puntos de unión que pudieran contaminar el manto freático.
- Ecosistema

Vegetación natural y cultivos:

- La vegetación propia del lugar tendrá un impacto negativo pequeño, ya que cualquier tipo de vegetación o cultivo existente, desaparecerá en la fase de excavación.

Medidas de mitigación:

- Se deberá evitar la intervención en las áreas cercanas al área boscosa principalmente con actividades como: la explotación de bancos de material y sitios para el depósito de desperdicio, además deberá evitarse la utilización de dinamita para labores de construcción ya que podría afectar a la fauna existente en el lugar.
- Es conveniente que las medidas de mitigación propuestas en el estudio sean compatibles con el área en mención, como la reforestación, ya que se deberán sembrar árboles nativos para no introducir especies exóticas al área.

4 . DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA COLONIA LO DE BRAN

4.1. Diseño de la red de distribución

Este proyecto consiste en el diseño del alcantarillado sanitario para la colonia Lo de Bran Mixco, Guatemala. Dicha necesidad se identificó investigando la problemática que viven los pobladores a raíz de la falta de este elemental servicio.

La red a diseñar presenta una longitud de 550,00 metros, para los cuales se diseñaron 16 pozos de visita y 92 conexiones domiciliarias. La tubería a utilizar será PVC, Norma ASTM D-3034 y tendrá un diámetro de 6 pulgadas. Las pendientes de la tubería se tomaron de acuerdo a las pendientes del terreno, evitando rebasar las velocidades y caudales permitidos. El desfogue se realizará a un sistema de alcantarillado sanitario ya existente.

En los anexos del presente trabajo se encuentran las tablas de cálculo del proyecto completo, sin embargo, para fines ilustrativos a continuación se desglosarán los cálculos del tramo PV-11 a PV-12.

- Cálculo de pendiente

$$c_o = 106,06 \text{ m}$$

$$c_f = 105,87 \text{ m}$$

$$S = \left(\frac{C_o - C_f}{DH} \right) \times 100$$

$$S = \left(\frac{106,06 - 105,87}{7,58} \right) \times 100$$

$$S = 2,53 \%$$

- Período de diseño

Para el proyecto se tomó un período de diseño de 30 años por ser el tiempo de vida útil del proyecto y por los recursos económicos con los que cuenta el municipio.

- Población de diseño

$$P_o = 60$$

$$P_f = P_o \times (1 + r)^n$$

$$P_f = 60 \times (1 + 4/100)^{30} = 195 \text{ habitantes}$$

- Dotación de agua potable

La Municipalidad de Mixco tiene establecida una dotación de 200 litros por habitante por día, por lo que esta fue la que se adoptó para el diseño de este sistema.

- Factor de retorno

Se aplicará un factor de retorno del 90 por ciento de acuerdo a lo permitido por la Asociación Guatemalteca de Ingenieros Sanitarios y Ambientales.

- Factor de flujo o de Harmond

Inicial:

$$FH = \left(\frac{18 + \sqrt{\frac{P_0}{1000}}}{18 + \sqrt{\frac{P_0}{1000}}} \right)$$

$$FH = \left(\frac{18 + \sqrt{\frac{60}{1000}}}{18 + \sqrt{\frac{60}{1000}}} \right)$$

$$FH = 4,2980$$

Futuro:

$$FH = \left(\frac{18 + \sqrt{\frac{P_f}{1000}}}{18 + \sqrt{\frac{P_f}{1000}}} \right)$$

$$FH = \left(\frac{18 + \sqrt{\frac{195}{1000}}}{18 + \sqrt{\frac{195}{1000}}} \right)$$

$$FH = 4,1523$$

- Caudal sanitario
 - Caudal domiciliar

Inicial:

$$Q_{\text{dom}} = \frac{\text{Dot} \times FR \times P_o}{86\ 400}$$

$$Q_{\text{dom}} = \frac{200 \times 0,90 \times 60}{86\ 400}$$

$$Q_{\text{dom}} = 0,125 \text{ l/s}$$

Futuro:

$$Q_{\text{dom}} = \frac{\text{Dot} \times FR \times P_f}{86\ 400}$$

$$Q_{\text{dom}} = \frac{200 \times 0,90 \times 195}{86\ 400}$$

$$Q_{\text{dom}} = 0,4054 \text{ l/s}$$

- Caudal comercial

$$Q_{\text{com}} = 0 \text{ l/s}$$

- Caudal industrial

$$Q_{\text{ind}} = 0 \text{ l/s}$$

- Caudal de conexiones ilícitas

Inicial:

$$Q_{\text{ci}} = 25\% \times Q_{\text{dom}}$$

$$Q_{\text{ci}} = 0,25 \times 0,125$$

$$Q_{\text{ci}} = 0,03125 \text{ l/s}$$

Futuro:

$$Q_{\text{ci}} = 25\% \times Q_{\text{dom}}$$

$$Q_{\text{ci}} = 0,25 \times 0,4054$$

$$Q_{\text{ci}} = 0,1013 \text{ l/s}$$

- Caudal de infiltración

$$Q_{\text{inf}} = 0,01 \times 6 \times 0,00758$$

$$Q_{\text{inf}} = 0,00045 \text{ l/s}$$

- Caudal medio

$$Q_{\text{med}} = Q_{\text{dom}} + Q_{\text{com}} + Q_{\text{ind}} + Q_{\text{ci}} + Q_{\text{inf}}$$

Inicial:

$$Q_{\text{med}} = 0,125 + 0,03125 + 0,00045$$

$$Q_{\text{med}} = 0,1567 \text{ l/s}$$

Futuro:

$$Q_{\text{med}} = 0,4054 + 0,1013 + 0,00045$$

$$Q_{\text{med}} = 0,5071 \text{ l/s}$$

- Factor de caudal medio

Inicial:

$$f_{\text{qm}} = \frac{Q_{\text{med}}}{P_o}$$

$$f_{qm} = \frac{0,1567}{60}$$

$$f_{qm} = 0,0026 \text{ lts/hab/seg}; \quad 0,002 < f_{qm} < 0,005$$

Futuro:

$$f_{qm} = \frac{Q_{med}}{P_f}$$

$$f_{qm} = \frac{0,5071}{195}$$

$$f_{qm} = 0,0026 \text{ lts/hab./seg}; \quad 0,002 < f_{qm} < 0,005$$

- Caudal de diseño

Inicial:

$$q = f_{qm} \times FH \times P_o$$

$$q = 0,00260 \times 4,298 \times 60$$

$$q = 0,06715 \text{ lts/seg}$$

Futuro:

$$q = f_{qm} \times FH \times P_f$$

$$q = 0,00260 \times 4,1523 \times 195$$

$$q = 2,1043 \text{ l/s}$$

- Velocidad a sección llena

$$V = \frac{0,03429 \times D^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$V = \frac{0,03429 \times (6)^{\frac{2}{3}} \times (2,53)^{\frac{1}{2}}}{0,01}$$

$$V = 1,8019 \text{ m/s}$$

- Caudal a sección llena

$$Q = A \times V$$

$$Q = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \right) \times V$$

$$Q = \left[\frac{\pi}{4} \times (6 \times 0,0254)^2 \right] \times (1,8019 \times 1000)$$

$$Q = 32,8734 \text{ l/s}$$

- Relaciones hidráulicas

Relación de caudales:

$$q/Q = \frac{0,6715}{32,8734}$$

$$q/Q = 0,020428$$

De la tabla de relaciones hidráulicas se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{Relación de velocidades:} \quad v / V = 0,401$$

$$\text{Relación de tirantes:} \quad d / D = 0,100$$

$$\text{Relación de áreas:} \quad a / A = 0,05094$$

- Velocidad a sección parcial

$$v = (v/V) \times V$$

$$v = 0,401 \times 1,80198$$

$$v = 0,72 \text{ m/s}$$

- Verificación de relaciones hidráulicas

$$q < Q \quad 2,1043 \text{ l/s} < 32,8734 \text{ l/s} \quad \text{Sí cumple.}$$

0,40 < v < 4,00 v = 0,72 m/s Sí cumple.

0,10 < d / D < 0,75 d / D = 0,10 Sí cumple.

4.2. Presupuesto

Este fue elaborado en base al cómputo métrico de materiales y mano de obra a emplear. Para los diferentes renglones de que consta este proyecto se presupuestó por separado y en forma detallada los costos unitarios de: materiales, mano de obra, gastos administrativos e imprevistos, esto es, gastos directos e indirectos.

Tabla VIII. **Resumen del presupuesto del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Lo de Bran**

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	IMPORTE
1	TRABAJOS PRELIMINARES					Q10 879,52
1.01	TOPOGRAFÍA	Día	8	Q1 359,94	Q10 879,52	
2	CONSTRUCCIÓN DE COLECTORES					Q379 008,21
2.01	EXCAVACIÓN DE ZANJA (INCLUYE CORTE, CARGA Y ACARREO DE MATERIAL SOBRENTE)	m ³	1061,68	Q80,51	Q85 475,86	
2.02	INSTALACIÓN DE TUBERÍA PVC ø 6" (INCLUYE NIVELACIÓN DE ZANJA CON MATERIAL GRANULAR, INSTALACIÓN)	m	541,94	Q155,94	Q84 510,12	
2.03	RELLENO POR CAPAS EN ZANJA CON MATERIAL GRANULAR	m ³	1051,79	Q198,73	Q209 022,23	
3	CONSTRUCCION DE POZOS DE VISITA					Q140 229,11

Continuación de la tabla VIII.

No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	IMPORTE
3.01	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 1,85 M (INCLUYE EXCAVACIÓN, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	7	Q8 369,70	Q58 587,90	
3.02	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 1,88 M (INCLUYE EXCAVACIÓN, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	5	Q8 414,06	Q42 070,30	
3.03	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 2,08 M (INCLUYE EXCAVACIÓN, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q9 109,03	Q8 709,79	
3.04	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 2,78 M (INCLUYE EXCAVACIÓN, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q9 744,86	Q9 744,86	
3.05	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 3,18 M (INCLUYE EXCAVACIÓN, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q10 336,33	Q10 336,33	
3.06	POZO PVC - D1,20 - ALTURA 3,48 M (INCLUYE EXCAVACIÓN, FORMALETA, LEVANTADO DE MURO, PISO DE POZO, TAPADERA Y ACABADO)	unidad	1	Q10 779,93	Q10 779,93	
4	CANDELA DOMICILIAR					Q362 963,92

Continuación de la tabla VIII.

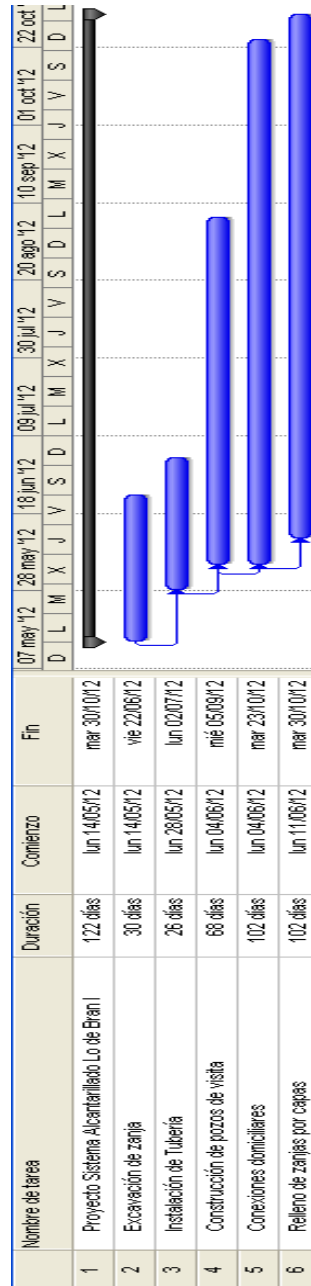
No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL	IMPORTE
4.01	INCLUYE EXCAVACIÓN, FUNDICION, COLOCACIÓN DE TUBO Y CONEXIÓN AL COLECTOR	unidad	92	Q3 945,26	Q362 963,92	
					TOTAL	Q893 080,76

Fuente: elaboración propia.

4.3. Cronograma de ejecución

El cronograma de actividades representado en un gráfico de Gantt se diseñó en base a proyectos similares de alcantarillado sanitario realizados con anterioridad en la Municipalidad de Mixco, en donde se han cronometrado y documentado todos los trabajos desglosadamente, tomando en cuenta el recurso humano y los recursos materiales y financieros.

Tabla IX. **Cronograma para la ejecución del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Lo de Bran**



Fuente: elaboración propia

4.4. Evaluación socioeconómica

La evaluación socioeconómica se realizará para determinar la viabilidad del proyecto de alcantarillado sanitario para la colonia Lo de Bran, según criterios de la Municipalidad de Mixco.

4.4.1. Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto para este proyecto se calculará de la misma forma en que se hizo para el proyecto de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia:

$$P = F \left[\frac{1}{(1+i)^N} - 1 \right]$$

Donde:

- P = Valor de pago único en el inicio de la operación
- F = Valor de pago único al final del período de la operación
- i = Tasa de interés de cobro por la operación
- N = Período que se pretende dure la operación

La Municipalidad absorberá el total del costo del proyecto pero la comunidad pagará Q. 2 000,00 por derecho de conexión de cada vivienda.

Datos del proyecto:

Costo total del proyecto = Q. 893 080,76
n = 30 años

$$i = 10\%$$

$$F = Q. 2\,000,00 \times 92 = Q. 184\,000,00$$

$$VPN = -893\,080,76 + 184\,000 \times \left[\frac{1}{(1 + 0,10)^{30} - 1} \right]$$

$$VPN = -881\,894,94$$

4.4.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Al igual que el sistema de alcantarillado para la colonia Villas de Magnolia, el análisis socioeconómico para este proyecto se realizará a través de la relación costo/beneficio:

$$\begin{aligned} \text{Costo} &= \text{Inversión inicial} + \text{VPN} \\ &= Q. 893\,080,76 - Q. 881\,894,94 = Q. 11\,185,82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beneficio} &= \text{No. de habitantes beneficiados (a futuro)} \\ &= 1\,790 \text{ habitantes} \end{aligned}$$

$$\text{Costo/beneficio} = \frac{11\,185,82}{1\,790} = Q. 6,24/\text{Hab.}$$

El valor aceptado por la Municipalidad de Mixco es de hasta Q.1 500,00 por habitante, por lo que se concluye que este proyecto puede considerarse rentable.

4.5. Evaluación de impacto ambiental

La evaluación de impacto ambiental de este proyecto, se hará a través de una matriz modificada de Leopold, la cual dará una noción certera del impacto que causará el proyecto al ambiente.

Tabla X. **Matriz modificada de Leopold del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Lo de Bran**

ELEMENTOS AMBIENTALES	ETAPA de construcción			ETAPA de funcionamiento		
	A	B	N	A	B	N
I. MEDIO AMBIENTE						
1. Tierras						
a. Topografía			*			*
b. Suelo	-			-		
c. Erosión y sedimentación	-			-		
2. Microclima						
3. Aguas						
a. Ríos			*	-		
b. Aguas subterráneas			*			*
c. Calidad de Aguas			*	-		
4. Ecosistema						
a. Flora						
- Vegetación natural	-			-		
- Cultivos			*			*
b. Fauna						
- Mamíferos y aves			*			*
- Peces organismos acuáticos			*			*
c. Biodiversidad						
- Peligro de extinción			*			*

Continuación de la tabla X.

ELEMENTOS AMBIENTALES	ETAPA de construcción			ETAPA de funcionamiento		
	A	B	N	A	B	N
- Especies migratorias						
5. Desastres naturales			*			*
II. MEDIO AMBIENTE SOCIO-ECONÓMICO						
1. Población						
a. Población en peligro			*			*
b. Reasentamiento			*			*
c. Poblaciones migratorias			*			*
2. Uso de la tierra			*			*
3. Uso del agua			*			*
4. Actividades productivas						
a. Agricultura			*			*
b. Pecuaria			*			*
c. Pesca			*			*
d. Agroindustria			*			*
e. Mercado y comercio		+			+	
5. Empleo		++			+	
6. Aspectos culturales			*		+	
7. Historia y arqueología			*			*
III. PROBLEMAS AMBIENTALES						
1. Contaminación del aire	-					*
2. Contaminación del agua			*	-		
3. Contaminación del suelo	-					*
4. Ruido y vibración	--					*
5. Hundimiento del suelo			*			*
6. Mal olor			*		++	

Fuente: elaboración propia.

Nomenclatura:

- ++ Impacto positivo grande
- + Impacto positivo pequeño
- * Neutro
- Impacto negativo pequeño
- Impacto negativo grande
- A Adverso
- B Benéfico
- N Neutro

Las medidas de mitigación que se deberán adoptar para desaparecer o minimizar el impacto negativo que pudiera ocasionar este proyecto al ambiente son:

- Medio ambiente

Tierra:

- El suelo será afectado negativamente en la etapa de construcción debido a excavación de zanja, pozos de visita y fosas sépticas.
- La erosión y sedimentación serán aspectos afectados negativamente durante la fase de construcción, por las zanjas excavadas para la instalación de tuberías.

Medidas de mitigación:

- El suelo extraído en la excavación, se incorporará de nuevo a las zanjas, debidamente compactado y el sobrante se esparcirá al terreno.
- El material de excavación, deberá analizarse si puede ser reciclado para una pronta reincorporación, ya que disminuirá la explotación de canteras y se evitará la utilización de áreas para su disposición.

- Aguas

Agua subterránea:

- Éstas se verán afectadas debido a la colocación de tubería y construcción de pozos de visita, con materiales como el PVC y el ladrillo.

Medidas de mitigación:

- La colocación de tubería se realizará siguiendo las instrucciones del encargado de la obra con las normas de calidad exigidas, y así minimizar la posibilidad de ruptura de la tubería y filtración en los puntos de unión que pudieran contaminar el manto freático.

- Ecosistema

Vegetación natural y cultivos:

- La vegetación propia del lugar tendrá un impacto negativo pequeño, ya que cualquier tipo de vegetación o cultivo existente, desaparecerá en la fase de excavación.

Medidas de mitigación:

- Se deberá evitar la intervención en las áreas cercanas al área boscosa principalmente con actividades como: la explotación de bancos de material y sitios para el depósito de desperdicio, además deberá evitarse la utilización de dinamita para labores de construcción ya que podría afectar a la fauna existente en el lugar.
- Es conveniente que las medidas de mitigación propuestas en el estudio sean compatibles con el área en mención, como la reforestación, ya que se deberán sembrar árboles nativos para no introducir especies exóticas al área.

CONCLUSIONES

1. El diseño de los sistemas de alcantarillado sanitario de las colonias Villas de Magnolia y Lo de Bran, se realizaron guardando criterios técnicos y económicos para obtener un proyecto factible de desarrollar para la Municipalidad de Mixco y que beneficie a la población vecina con una baja inversión en mantenimiento.
2. Los criterios técnicos utilizados para el desarrollo de ambos proyectos fueron tomados del reglamento del Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM).
3. Con la implementación de ambos proyectos se estará contribuyendo a la mejora de la salud humana de los vecinos del sector, ya que la evacuación de las aguas negras se hará de una forma adecuada evitando contaminación y enfermedades.
4. La investigación diagnóstica del municipio se realizó con el apoyo de la Dirección de Planificación y Diseño de la Municipalidad de Mixco, obteniendo con ello una clara visión de la actual situación y de las principales necesidades de las comunidades.

RECOMENDACIONES

1. Garantizar la supervisión técnica profesional durante la ejecución de los proyectos para que se cumplan con todas las especificaciones y requerimientos contenidos en los planos.
2. Verificar que los materiales a utilizar para la construcción de cada uno de los proyectos sean de calidad y de costo adecuado, y que en la medida de lo posible sean obtenidos dentro del municipio.
3. Dar mantenimiento a los sistemas de alcantarillado sanitario para que no se acumulen materiales que puedan obstruir el colector y los pozos de visita.
4. Si las obras no son construidas en un corto plazo, se deberán actualizar los precios de los materiales, pues en el mercado actual se dan fluctuaciones constantemente.
5. Utilizar mano de obra local para la ejecución de los proyectos, para con esto generar fuentes de trabajo en el municipio.

BIBLIOGRAFÍA

1. CARRILLO AMAYA, Mario Alejandro. *Diseño de la edificación de dos niveles para mercado municipal y sistema de alcantarillado sanitario la aldea El Puente, municipio de Santa Catarina Mita, Jutiapa*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2009. 157 p.
2. CONTRERAS BARRIENTOS, Walter Giovanni. *Aplicaciones de Microsoft Excel al diseño, cálculo y estimación de costos de sistemas de alcantarillado en la República de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2000. 182 p.
3. GUERRA VILLEDA, Wilder Ronaldo. *Sistema de alcantarillado sanitario para el municipio de San José y puente vehicular del caserío El Corozal, municipio de San José, Petén*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2005. 98 p.
4. Instituto Americano del Concreto. *Código de diseño de hormigón armado y comentarios ACI – 318-99*. Chile. ACI, 2000. 385 p.
5. Instituto Nacional de Fomento Municipal. *Normas generales para diseño de alcantarillados*. Guatemala. INFOM, 2001. 160 p.

6. Instituto Nacional de Estadística. *XI Censo de población y VI de habitación. Guatemala*. INE, 2002. 221 p.
7. NILSON, Arthur H. *Diseño de estructuras de concreto*. 13ª ed. Colombia. McGraw-Hill, 2001. 722 p.
8. PONTAZA PIVARAL, Jorge Mauricio. *Diseño de alcantarillado sanitario y pavimentación de calles para el barrio Playa Blanca en el municipio de San Benito, Petén*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2008. 138 p.

APÉNDICE

Tablas de cálculo del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Villas de Magnolia

De	A	Cota de terreno		Distancia horizontal	S (%)	No. Casas	No. Casas acumulado	Diámetro (pul)	Velocidad
		PV	PV						
1	2	201,64	195,85	80,00	7,24	4	4	6	0,80
2	3	195,85	193,12	80,00	3,38	5	9	6	0,77
3	4	193,12	187,30	80,00	7,24	4	13	6	1,12
4	5	187,30	180,18	80,00	8,86	2	15	6	1,26
5	6	180,18	177,48	72,99	3,01	2	17	6	0,87
6	7	177,48	174,66	77,01	3,63	2	19	6	0,98
7	8	174,66	172,21	58,86	4,11	0	19	6	1,03
8	9	172,21	171,00	50,00	2,06	0	53	6	1,05
9	10	171,00	167,84	44,24	5,17	1	54	6	1,44
10	11	167,84	161,29	54,61	11,99	0	54	6	2,03
11	12	161,29	158,00	26,42	10,43	0	54	6	1,89
De	A	Cota de terreno		DH	S (%)	No. Casas	No. Casas acumulado	Diámetro (pul)	Velocidad
PV	PV	Inicio	Final						
28	29	191,92	190,62	30,00	4,32	2	2	6	0,54
29	13	190,62	190,86	62,79	1,00	4	6	6	0,45
30	31	191,52	187,00	55,00	8,22	4	4	6	0,83
31	14	187,00	188,15	43,75	1,09	3	7	6	0,49
32	33	187,72	185,42	50,00	4,61	2	9	6	0,56
33	15	185,42	184,41	44,68	2,20	2	11	6	0,52
De	A	Cota de terreno		DH	S (%)	No. Casas	No. Casas acumulado	Diámetro (pul)	Velocidad
PV	PV	Inicio	Final						
13	14	190,86	188,15	51,98	3,43	0	6	6	0,70
14	15	188,14	184,41	40,90	5,03	1	14	6	0,93
15	16	184,40	179,82	93,13	4,12	4	22	6	1,05
16	17	179,81	177,67	75,00	2,82	2	24	6	0,96
17	18	177,67	176,86	75,00	1,04	3	27	6	0,70
18	19	176,86	175,20	75,00	2,19	3	30	6	0,94
19	20	175,20	172,17	78,46	3,82	3	33	6	1,18
20	8	172,17	172,74	35,56	1,13	1	34	6	0,78
De	A	Cota de terreno		DH	S (%)	No. Casas	No. Casas acumulado	Diámetro (pul)	Velocidad
PV	PV	Inicio	Final						
21	22	166,47	164,20	52,30	4,33	3	3	6	0,62
22	23	164,20	163,00	18,61	6,30	1	4	6	0,75
23	24	163,00	161,88	15,87	6,88	0	4	6	0,78
24	25	161,88	157,89	29,23	6,79	2	6	6	0,81
25	26	157,89	158,00	25,76	1,41	1	7	6	0,19
26	27	158,00	158,00	20,62	2,04	0	7	6	0,65
27	12	158,00	158,00	77,10	2,04	0	7	6	0,67

Tablas de cálculo del sistema de alcantarillado sanitario para la colonia Lo de Bran

De	A	Cota de terreno		Distancia horizontal	S (%)	No. Casas	No. Casas acumulado	Diámetro (pul)	velocidad
		Inicio	Final						
13	14	107,79	107,56	17,96	1,33	3	3	6	0,4067
14	11	107,56	107,29	22,04	1,09	1	4	6	0,4120
9	12	107,59	107,06	41,39	1,27	6	6	6	0,4854
8	2	107,00	106,28	27,19	2,64	6	6	6	0,6274
10	11	107,76	107,29	22,84	2,06	5	5	6	0,5544
11	12	107,29	107,06	7,58	2,53	1	10	6	0,7226
12	3	107,06	106,29	35,88	2,08	3	19	6	0,8179
14	4	107,56	106,51	42,59	2,46	3	3	6	0,4993
15	16	105,04	103,90	22,66	5,04	5	5	6	0,7549
16	5	103,90	104,69	37,34	1,27	5	10	6	0,5670
1	2	106,27	106,28	10,41	1,76	2	2	6	0,3963
2	3	106,28	106,29	44,24	1,50	10	18	6	0,7177
3	4	106,29	106,51	26,13	1,72	5	42	6	0,9569
4	5	106,51	104,69	82,93	1,79	16	61	6	1,0684
5	6	104,69	102,70	40,76	1,62	6	77	6	1,0983
6	7	102,70	99,91	60,00	4,61	15	92	6	1,6715