



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

**DISEÑO DE DRENAJE SANITARIO PARA LA COLONIA BUENA TIERRA,
CHINIQUE DE LAS FLORES, QUICHÉ**

Carlos Antonio Herrera Rodas

Asesorado por el Ing. Luis Gregorio Alfaro Veliz

Guatemala, marzo de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE DRENAJE SANITARIO PARA LA COLONIA BUENA TIERRA,
CHINIQUE DE LAS FLORES, QUICHÉ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS ANTONIO HERRERA RODAS

ASESORADO POR EL ING. LUIS GREGORIO ALFARO VELIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto 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

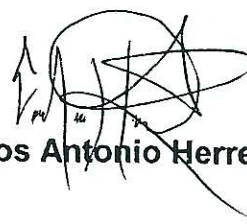
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñonez Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 DRENAJE SANITARIO PARA LA COLONIA BUENA TIERRA, CHINIQUE DE LAS FLORES, QUICHÉ

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



Carlos Antonio Herrera Rodas



Guatemala, 18 de octubre de 2013.
Ref.EPS.DOC.1145.10.13

Ing. Juan Merck Cos
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Merck Cos.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Carlos Antonio Herrera Rodas** con carné No. **200312569**, de la Carrera de Ingeniería Civil, , procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO DE DRENAJE SANITARIO PARA LA COLONIA BUENA TIERRA, CHINIQUE DE LAS FLORES, QUICHÉ.**

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. Luis Gregorio Alvaro Véliz
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil
Universidad de San Carlos de Guatemala
ASESOR(A)-SUPERVISOR(A) DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

c.c. Archivo
LGAV/ra



FACULTAD DE INGENIERIA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 20 de enero de 2014
Ref.EPS.D.14.01.14

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 DRENAJE SANITARIO PARA LA COLONIA BUENA TIERRA, CHINIQUE DE LAS FLORES, QUICHÉ**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **CARLOS ANTONIO HERRERA KODAS**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Luis Gregorio Alfaro Véliz.

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 Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS

SJRS/ra





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
17 de enero de 2014

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación DISEÑO DE DRENAJE SANITARIO PARA LA COLONIA BUENA TIERRA, CHINIQUE DE LAS FLORES, QUICHÉ, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos Antonio Herrera Rodas, con Carnet No.200312569, quien contó con la asesoría del Ing. Luis Gregorio Alfaro Véliz.

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.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Luis Gregorio Alfaro Véliz y del Coordinador de E.P.S. Ing. Silvio José Rodríguez Serrano, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Antonio Herrera Rodas, titulado DISEÑO DE DRENAJE SANITARIO PARA LA COLONIA BUENA TIERRA, CHINIQUÉ DE LAS FLORES, QUICHÉ da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, marzo 2014

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





DTG. 106 .2014

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 DRENAJE SANITARIO PARA LA COLONIA BUENA TIERRA, CHINIQUE DE LAS FLORES, QUICHÉ**, presentado por el estudiante universitario Carlos Antonio Herrera Rodas, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 7 de marzo de 2014

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Eliseo Herrera y Rubida Rodas, esto es fruto de su esfuerzo y dedicación.

Mi esposa e hija

Verónica Pérez y Victoria Herrera Pérez, razón de mi existencia y mi lucha.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Fuente de sabiduría, por tu voluntad y misericordia respiro cada día, gracias a ti he podido alcanzar un sueño más.
- Mis padres** Eliseo Herrera Soto y Rubidia Rodas Ramírez, por su incondicional apoyo desde siempre. Son mi ejemplo de vida. Gracias por el interminable amor que me brindan.
- Mi esposa** Verónica Pérez Tavico, por tu apoyo y paciencia durante este proceso. Sos y serás el amor de mi vida.
- Mi hija** Victoria Herrera Pérez, sos mi rayo de luz, mi alegría y bendición. Mi razón de lucha y mi inspiración.
- Mis hermanos** Alexander y Gabriela Herrera Rodas, amigos incondicionales, pilares de mi vida, mi punto de apoyo para seguir girando por caminos de bendición.
- Mi familia política** Por el apoyo incondicional, cariño y comprensión que me han brindado durante todo este tiempo.

**Universidad de
San Carlos de Guatemala**

Bendita casa que has formado mis ideas, me has dado la oportunidad de Superación y me has llenado de incontables alegrías.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Monografía del municipio de Chinique, El Quiché	1
1.1.1. Aspectos generales.....	1
1.1.2. Ubicación	2
1.1.3. Colindancias.....	2
1.1.4. Extensión y división territorial.....	3
1.1.5. Vías de acceso.....	4
1.1.6. Población	6
1.1.7. Servicios básicos.....	6
1.1.8. Principales actividades económicas.....	7
1.1.9. Situación socioeconómica.....	8
1.1.10. Hidrología.....	8
2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	9
2.1. Aspectos preliminares	9
2.1.1. Estudio topográfico.....	10
2.1.1.1. Planimetría	10

	2.1.1.2.	Altimetría	10
2.2.		Generalidades de los alcantarillados.....	11
	2.2.1.	Tipos de alcantarillado	11
		2.2.1.1. Alcantarillado sanitario	11
		2.2.1.2. Alcantarillado pluvial	11
		2.2.1.3. Alcantarillado combinado	12
	2.2.2.	Partes de un sistema de alcantarillado sanitario.....	12
		2.2.2.1. Colectores	12
		2.2.2.2. Pozos de visita	12
		2.2.2.3. Conexiones domiciliarias	13
		2.2.2.4. Desfogue final o punto de descarga.....	13
	2.2.3.	Tipos de tubería utilizadas en un alcantarillado	14
2.3.		Aspectos y especificaciones técnicas en el diseño de un drenaje sanitario	14
	2.3.1.	Diámetro de tubería	15
	2.3.2.	Pendientes, velocidades máximas y mínimas permitidas	15
	2.3.3.	Profundidad de tubería	16
	2.3.4.	Período de diseño.....	17
	2.3.5.	Población de diseño.....	18
	2.3.6.	Métodos para el cálculo de población futura.....	18
		2.3.6.1. Método aritmético.....	18
		2.3.6.2. Método geométrico	19
	2.3.7.	Factor de Hardmond	20
	2.3.8.	Caudal de diseño	21
		2.3.8.1. Caudal sanitario	21
		2.3.8.1.1. Caudal domiciliar.....	22
		2.3.8.1.2. Caudal comercial	22
		2.3.8.1.3. Caudal industrial	23

	2.3.8.1.4.	Caudal de conexiones ilícitas	24
	2.3.8.1.5.	Caudal de infiltración	25
	2.3.8.2.	Factor de caudal de diseño	26
	2.3.9.	Cálculo de cota Invert.....	26
2.4.		Principios hidráulicos	28
	2.4.1.	Ecuación de Manning para flujo en canales	28
	2.4.2.	Ecuación a sección parcialmente llena	31
	2.4.3.	Relaciones hidráulicas	32
2.5.		Obras accesorias en un sistema de alcantarillado.....	34
	2.5.1.	Pozos de visita.....	34
	2.5.1.1.	Componentes de los pozos de visita	34
	2.5.1.2.	Parámetros de diseño.....	36
	2.5.2.	Sistemas de limpieza	37
	2.5.3.	Tanques de lavado	37
2.6.		Normas y recomendaciones para Guatemala	38
2.7.		Diseño de drenaje sanitario para la colonia Buena Tierra Chinique, Quiche.....	38
	2.7.1.	Descripción del proyecto.....	39
	2.7.2.	Base de diseño	39
	2.7.3.	Cálculo del sistema.....	39
	2.7.3.1.	Población de diseño	40
	2.7.3.2.	Cálculo de caudales	40
	2.7.3.2.1.	Caudal domiciliar	40
	2.7.3.2.2.	Caudal de conexiones ilícitas	41
	2.7.3.2.3.	Caudal sanitario.....	41
	2.7.3.3.	Factor del caudal medio	42

2.7.3.4.	Ejemplo de tramo	42
2.7.4.	Diseño de la red de drenaje sanitario	46
2.7.5.	Elaboración de presupuesto	47
2.8.	Propuesta de tratamiento	48
2.8.1.	Diseño de fosas sépticas	48
2.8.2.	Dimensionamiento de los pozos de absorción.....	54
2.9.	Evaluación inicial ambiental	55
2.9.1.	Identificación de los impactos	55
2.9.1.1.	Construcción del Sistema de drenaje	55
2.9.1.2.	Puesta en marcha	56
2.9.1.3.	Operación y mantenimiento.....	56
2.10.	Evaluación socioeconómica	56
2.10.1.	Vapor Presente Neto	57
2.10.2.	Tasa Interna de Retorno	59
3.	FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE	63
3.1.	Manual de operación y mantenimiento del sistema.....	63
3.1.1.	Programa de mantenimiento.....	63
	CONCLUSIONES	65
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA	69
	APÉNDICES	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Colindancias Chinique, Quiché	3
2.	Tubería parcialmente llena	31
3.	Partes de un pozo de visita	36
4.	Sistema de limpieza para alcantarillado sanitario	37
5.	Diagrama de flujo efectivo	58
6.	Diagrama Tasa Interna de Retorno	60

TABLAS

I.	Coordenadas geográficas Chinique, Quiché.....	2
II.	División territorial por microregiones	4
III.	Distancias de las comunidades al área urbana.....	5
IV.	Datos demográficos, Chinique, Quiché.....	6
V.	Coordenadas geográficas colonia Buena Tierra, Chinique, Quiché....	9
VI.	Rango de velocidades de diseño para drenaje sanitario.....	16
VII.	Profundidad mínima para la instalación de tubería.....	17
VIII.	Coeficientes de rugosidad	30
IX.	Presupuesto general	47
X.	Cronograma de ejecución.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Q_{dom}	Caudal domiciliar
Q_s	Caudal sanitario
PVC	Cloruro de polivinilo
F_{qm}	Factor del caudal medio
FH	Factor de Hardmon
FR	Factor de retorno
PSI	Libras por pulgada cuadrada
Pf	Población futura
PV	Pozo de visita
q/Q	Relación hidráulica de caudales
v/V	Relación hidráulica de velocidades

GLOSARIO

ACI	Instituto Americano del Concreto.
Aguas negras	Agua de desecho que provienen de viviendas, industrias o comercios y que no está mezclada con jabones o grasas.
ASTM	Asociación americana para el ensayo de materiales.
Candela	Cámara de registro entre la tubería que proviene de la vivienda y el colector principal.
Colector	Tramo del alcantarillado que reúne diversos ramales menores.
Cota Invert	Distancia existente entre el nivel de la rasante de la tubería de salida y el lomo de la tubería de entrada.
Dotación	Cantidad de agua potable asignada a cada persona al día.
Factor de Hardmond	Factor de seguridad, cubre la variabilidad de las aportaciones de descarga durante todo el año y todo el día.

Factor de rugosidad	Factor que depende del tipo de superficie de la tubería.
INFOM	Instituto de Fomento Municipal
PDM	Plan de Desarrollo Municipal
Tirante	Altura del agua residual dentro de una tubería o canal abierto.
TIR	Tasa Interna de Retorno
UNEPAR	Unidad ejecutora del programa de acueductos rurales.
VNP	Valor Presente Neto

RESUMEN

El municipio de Chinique, Quiché está localizado en la región sur oriental del mismo, ubicado a 18 kilómetros de la cabecera departamental. Con una población de aproximadamente diez mil habitantes distribuidos en 29 centros poblados, entre los cuales está la colonia Buena Tierra.

Dicha colonia está situada entre una región de mucha importancia para el municipio ya que existen varios manantiales que proveen de agua potable a otras comunidades, además de ser una zona de recarga hídrica. Por estas características es necesario que la población evite la contaminación de las fuentes del vital líquido, por lo que se elaboró una propuesta para la creación de un sistema de drenaje sanitario.

Fue necesario determinar la cantidad de habitantes, la tasa de crecimiento anual, la dotación de agua potable, las actividades comerciales e industriales para saber el importe de agua residual que genera dicha población. Con ello se calculó el diámetro necesario de tubería y accesorios para poder transportar las aguas residuales a las plantas de tratamiento y a los puntos finales de descarga, utilizando un sistema de drenaje convencional separado para la conducción del agua, fosas sépticas para el tratamiento y pozos de absorción como puntos de descarga.

Se presenta la planificación completa del sistema de drenaje incluyendo bases de diseño, tablas de diseño, planos, presupuestos y demás documentos necesarios para la ejecución del mismo.

OBJETIVOS

General

Diseñar el sistema de drenaje sanitario para la colonia Buena Tierra, del municipio de Chinique, departamento de Quiché.

Específicos

1. Elaborar una investigación de carácter monográfico, sobre las necesidades de servicios básicos en la colonia Buena Tierra, Chinique, Quiché.
2. Utilizar las herramientas que proporciona la ingeniería civil para diseñar el sistema de drenaje para la colonia Buena Tierra, Chinique, Quiché.
3. Involucrar a la municipalidad de Chinique, Quiché y a los vecinos de la colonia Buena Tierra, para que formen parte de la operación y mantenimiento del sistema de drenaje que se va a construir en la colonia Buena Tierra.

INTRODUCCIÓN

En la municipalidad de Chinique, Quiché se elaboró un plan de desarrollo municipal para el período de 2011 al 2025, basado en el cumplimiento los objetivos del milenio. En dicho plan se determinó claramente la ausencia de sistemas de recolección de aguas residuales en las comunidades que han sido beneficiadas con sistemas de agua potable, además de la ausencia de buenas prácticas de saneamiento dentro de la población.

La municipalidad de Chinique, Quiché ha realizado grandes esfuerzos para mejorar la calidad de vida de los habitantes, pero las necesidades son muchas y los recursos son limitados. Es por eso que la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, brinda apoyo a través de la de la unidad del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

Es a través de este programa que se elabora el presente documento, que describe el diseño de un sistema de drenaje sanitario tradicional para la colonia Buena Tierra, ya que luego de la priorización de necesidades se determinó que dicha colonia está descargando las aguas residuales a flor de tierra, contaminando varios manantiales de agua, por lo que es necesario evitar que se siga dando dicha contaminación.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Monografía del municipio de Chinique, El Quiché

Es importante comprender las características del municipio, para poder apreciar las cualidades del mismo. Es por ello que se describen, a través de una monografía, los aspectos importantes del municipio de Chinique, Quiché.

1.1.1. Aspectos generales

El municipio de Chinique de las Flores forma parte del departamento de Quiché, “creado por real decreto con fecha 12 de agosto de 1872, con territorios desmembrados de los departamentos de Sololá y Totonicapán.”¹

El nombre se considera derivado del vocablo *Echenique*, que era el apellido de un hacendado español que vivió en la región, conociéndose inicialmente como “lo de Chinique.”

Chinique de las Flores es un municipio pequeño con aproximadamente 10 000 habitantes. La mayoría son de origen Quiché, y la minoría de estirpe ladina; se conserva la cultura de los antepasados basados en el respeto a los principales, la hegemonía religiosa se enmarca a través de la Iglesia Católica. En educación solo existen instalaciones de primaria y básicos; la economía se basa en la agricultura.

¹ Fuente: <http://www.guatificate.com/historia-del-municipio-de-chinique-departamento-de-quiche.html>. Consulta: junio de 2012.

1.1.2. Ubicación

El municipio de Chinique de las Flores se encuentra situado en la parte sur del departamento de El Quiché, a una distancia de 181 kilómetros de la ciudad capital y a 18 kilómetros de la cabecera departamental. Dicho municipio se encuentra localizado dentro de la parte alta de la cuenca del Motagua, sobre un ramal de la sierra de Chuacús.

La cabecera municipal de Chinique se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas:

Tabla I. **Coordenadas geográficas Chinique, Quiché**

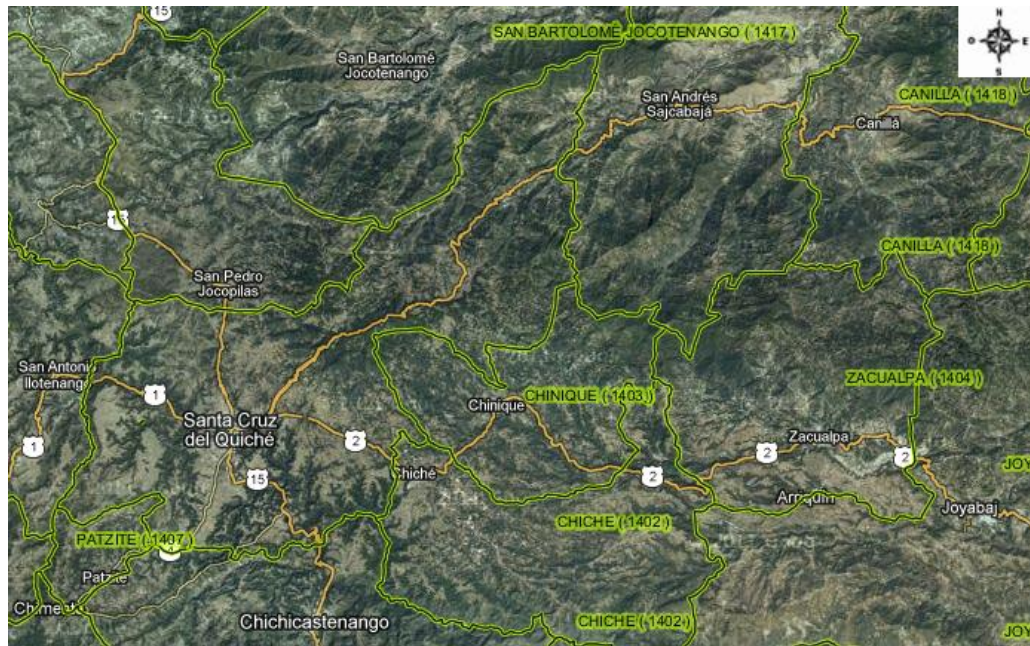
Latitud	N 15° 02' 25"
Longitud	O 91° 01' 36"
Rango de altitud	1 648 a 2 310 msnm.

Fuente: elaboración propia, con base en información de Google Earth.

1.1.3. Colindancias

Los municipios colindantes de Chinique de las Flores, Quiché son: al norte con San Andrés Sajcabajá y Santa Cruz del Quiché, al este con Santa Cruz del Quiché, al oeste con Zacualpa y Santo Tomás Chiché, al sur con Santo Tomás Chiché; todos del departamento del Quiché.

Figura 1. **Colindancias Chinique, Quiché**



Fuente: elaboración propia, con base en la Infraestructura de datos especiales de la Secretaría de Planificación y Programación IDE-SEGEPLAN.

1.1.4. **Extensión y división territorial**

El municipio de Chinique de las Flores, Quiché ocupa una extensión territorial de 64 kilómetros cuadrados compartidos entre 9 aldeas, 17 caseríos, 2 colonias y un pueblo, todos ellos organizados en tres microrregiones.

Tabla II. **División territorial por microregiones**

Micro Región 1	Micro Región 2	Micro Región 3
Área Urbana	Aldea Tapesquillo I	Aldea La Puerta
Aldea Ximbaxuc I	Caserío Tapesquillo II	Colonia Nueva Jerusalem
Aldea Ximbaxuc II	Caserío Tapesquillo III	Colonia Buena Tierra
Caserío Potrero Viejo	Caserío Tapesquillo IV	Caserío Loma Alta
Aldea Las Vigas	Caserío Buena Vista I	Aldea Agua Tibia I
Caserío Tizatal	Caserío Buena Vista II	Caserío Agua Tibia II
Caserío El Manzanillo I	Aldea Cacabal I	
Caserío El Manzanillo II	Caserío Cacabal II	
Aldea Cordoncillo	Caserío Cacabal III	
Caserío Parraxqui	Caserío Nueva Esperanza	
Caserío El Madrón		
Aldea Choaxan I		
Caserío Choaxan II		

Fuente: elaboración propia, con base en el diagnóstico municipal de Chinique. p. 11.

1.1.5. Vías de acceso

La ruta principal para acceder a la cabecera municipal de Chinique, desde la ciudad capital es a través de la carretera Interamericana CA 1 occidente hasta la aldea Los Encuentros con un recorrido de 128 kilómetros, luego se sigue por la Ruta Nacional 15, por 32 kilómetros hasta Santa Cruz del Quiché y por último 18 kilómetros sobre la Ruta Departamental 2. Haciendo una distancia total de 182 kilómetros. Dentro del municipio, la mayoría de comunidades tienen acceso a través de caminos vecinales, algunos de ellos en mal estado.

A continuación se describen las distancias de las comunidades hacia la cabecera municipal y tipo de transporte necesario para el acceso.

Tabla III. **Distancias de las comunidades al área urbana**

Comunidad	Distancia (Km.)	Transporte
Área Urbana	--	Sencillo
Aldea Ximbaxuc I	6,00	4x4
Aldea Ximbaxuc II	7,00	4x4
Caserío Potrero Viejo	4,00	Sencillo
Aldea Las Vigas	6,00	Sencillo
Caserío Tizatal	3,00	Sencillo
Caserío El Manzanillo I	2,00	Sencillo
Caserío El Manzanillo II	1,50	Sencillo
Aldea Cordoncillo	3,00	4x4
Caserío Parraxquin	4,00	Sencillo
Caserío El Madron	7,00	Sencillo
Aldea Choaxan I	9,00	Sencillo
Caserío Choaxan II	11,0	Sencillo
Aldea Tapesquillo I	8,00	Sencillo
Caserío Tapesquillo II	6,00	Sencillo
Caserío Tapesquillo III	8,00	Sencillo
Caserío Tapesquillo IV	11,0	A pie
Caserío Buena Vista I	8,00	4x4
Caserío Buena Vista II	13,0	4x4
Aldea Cacabal I	8,00	Sencillo
Caserío Cacabal II	7,00	Sencillo
Caserío Cacabal III	11,0	4x4
Caserío Nueva Esperanza	9,00	Sencillo
Aldea La Puerta	8,00	Sencillo
Caserío Nueva Jerusalén	4,00	Sencillo
Caserío Buena Tierra	5,00	Sencillo
Caserío Loma Alta	6,00	Sencillo
Aldea Agua Tibia I	1,00	Sencillo
Caserío Agua Tibia II	2,50	Sencillo

Fuente: elaboración propia, con base en el diagnóstico municipal de Chinique. p. 14.

1.1.6. Población

De acuerdo al XI censo de población y VI de habitación, realizado por el Instituto Nacional de Estadística INE en 2002, el municipio de Chinique posee un total de 8 009 habitantes, de los cuales 3 744 son hombres y 4 264 son mujeres.

La tasa de crecimiento poblacional para el municipio de Chinique, se ha estimado de 3,63 % de acuerdo al distrito de salud. Teniendo un incremento del 18,3 % entre 2002 y 2010.

Tabla IV. Datos demográficos, Chinique, Quiché

Población		Población		Población por género		Grupo Étnico		Vivienda	
INE 2002	Actual	Rural	Urbana	Mujeres	Hombres	Indígena	No Indígena	Urbana	Rural
8 009	9 764	8 002	1 762	4 980	4 784	6 835	2 929	28,65%	71,35%

Fuente: Centro de Atención Permanente y Dirección Municipal de Planificación, datos 2010.

1.1.7. Servicios básicos

La cabecera municipal es atravesada por la Ruta Departamental 2, teniendo acceso por ésta a Chiché y Santa Cruz del Quiché en la dirección sur este, y a Zacualpa en dirección oriente. Habiendo dentro de la jurisdicción de la cabecera municipal una longitud de 7 kilómetros de dicha ruta.

La mayoría de las comunidades del municipio tienen acceso por caminos balastados, algunos transitables solo con vehículos de doble tracción. Chinique cuenta con 84 kilómetros de terracería que comunican a todas las comunidades con la cabecera municipal y comunidades de los municipios de Santa Cruz del Quiché, San Andrés Sajcabajá y Chiché.

Sólo las comunidades de Tapesquillo III y IV, Buena Vista I y II y Nueva Esperanza, no tienen servicio de energía eléctrica y el área urbana es el único lugar que tiene alumbrado público.

Con respecto al abastecimiento domiciliario de agua entubada, el 89 % de la población posee el servicio, el otro 11 % se abastece de nacimientos o pozos propios, sin ninguna infraestructura sanitaria adecuada. En cuanto a drenaje de aguas residuales, sólo el área urbana cuenta con dicho servicio, del resto de las comunidades solo el 59,38 % posee algún tipo de letrina.

En el municipio se cuenta con tres salones de usos múltiples, una estación de bomberos voluntarios, tres cementerios, un rastro, un edificio para mercado, un centro de atención permanente y un puesto de salud.

1.1.8. Principales actividades económicas

En el municipio de Chinique, la población económicamente activa está conformada por 2 153 personas de los cuales el 81 % son hombres y el 19 % son mujeres. El 53 % (1 141 habitantes) se dedica a la agricultura y 12,63 % (271 habitantes) se dedican al comercio en general.

El resto de la población se dedica, en orden de importancia, 7,52 % a trabajos sociales y personales, 6,97 % a la educación 5,29 % otras actividades, 4,96 % a elaboración de textiles, 3,8 % a transporte y comunicaciones, 2,04 % defensa pública y el 1,49 % a la construcción.

En cuanto a los ingresos para la población agrícola, se estima que son de Q 501,00 a Q 1 000,00 mensuales, por lo que no llega al sueldo mínimo estipulado por el gobierno de la República de Guatemala.

1.1.9. Situación socioeconómica

La actividad económica más sobresaliente es la agricultura, específicamente, la agricultura de subsistencia, con producción de granos básicos para el consumo propio y en pequeñas cantidades para la comercialización, un 70 % de la población se dedica a esta actividad. La población económicamente activa es de 2 153 de los cuales 81 % son hombres y el 19 % mujeres.

Otras actividades económicas en orden de importancia son: comercio general, trabajos sociales y personales, educación, elaboración de textiles, transporte y comunicación, defensa pública y construcción.

1.1.10. Hidrología

El municipio de cuenta con varios manantiales, dentro de los que se destacan los de las comunidades de Manzanillo, Agua Tibia I y Agua Tibia II, La Puerta, Las Vigas, el Parque Nacional La Vega del Zope, Cordoncillo, Ximbaxuc II, Tapesquillo I, Buena Vista II y Tapesquillo IV.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Aspectos preliminares

Dentro de los aspectos preliminares para la elaboración del diseño del drenaje sanitario, se consideran las siguientes características de la colonia Buena Tierra:

- Ubicación geográfica:

Tabla V. **Coordenadas geográficas colonia Buena Tierra, Chinique, Quiché**

Latitud	N 15° 02' 01"
Longitud	O 91° 03 '18"
Altitud	2 060 msnm

Fuente: elaboración propia, con Base en información de Google Earth

- El clima de la colonia Buena Tierra es de frío a templado, con una temperatura promedio anual de 18 °C.
- Las condiciones sanitarias son precarias para los habitantes de la colonia Buena Tierra, ya que no cuentan con un saneamiento adecuado en las viviendas, por lo que existen varios focos de contaminación creados por las mismas personas del lugar.

2.1.1. Estudio topográfico

Para el levantamiento topográfico, se debe tomar en cuenta el área edificada y de desarrollo futuro, además de todas las obras que puedan afectar la construcción del sistema de drenaje, por ejemplo: cementerios, calles pavimentadas, quebradas, cursos de agua, elevaciones, depresiones, tuberías de agua potable, etc.

Los datos del levantamiento topográfico deberán quedar consignados en la libreta de campo, es indispensable que se acompañen de los croquis o esquemas correspondientes, los cuales deberán ser ejecutados en campo a medida que avanza el trabajo.

2.1.1.1. Planimetría

El método utilizado para el levantamiento topográfico, fue el de conservación de Azimut, siendo el más generalizado para el tipo de estudio. El equipo utilizado fue un teodolito marca South T70002 ET05, una plomada de 16 onzas y una cinta métrica de 50 metros de longitud.

2.1.1.2. Altimetría

Se utilizó un nivel de precisión diferencial marca Sokkia, una plomada de 16 onzas, un estadal telescópico y una cinta métrica. El método utilizado fue el de nivelación diferencial, tomando un banco de marca relativo al inicio y obteniendo datos de cotas en los cambios de dirección, de pendiente o características especiales del terreno.

2.2. Generalidades de los alcantarillados

En la actualidad existe una gran cantidad alcantarillados en el mercado, con nuevos componentes y nuevas tecnologías. Pero todos tienen el mismo principio y el mismo fin, por eso es necesario describir los componentes los sistemas de drenaje sanitario o alcantarillados.

2.2.1. Tipos de alcantarillados

Como alcantarillado se considera a todos los conductos que conducen las aguas residuales que provienen de las calles, casas, industrias, comercios, etc. Se tienen tres tipos de sistema de alcantarillado, la elección depende de los estudios que se realicen y condiciones socioeconómicas, físicas y funcionales.

2.2.1.1. Alcantarillado sanitario

Corresponde a los conjuntos de tuberías y obras necesarias para transportar las aguas residuales (aguas negras y grises), provenientes de las casas, comercios e industrias.

2.2.1.2. Alcantarillado pluvial

Es el alcantarillado que se utiliza para evacuar exclusivamente la escorrentía superficial producida por la precipitación.

2.2.1.3. Alcantarillado combinado

Cuando en un mismo sistema de tuberías se conducen simultáneamente las aguas residuales y las producidas por las precipitaciones, se considera como alcantarillado combinado.

2.2.2. Partes de un sistema de alcantarillado sanitario

Un sistema de drenaje o alcantarillado está formado por varias partes, todas indispensables para el funcionamiento. Se describe las características principales de dichas partes.

2.2.2.1. Colectores

Son conductos o tuberías por la que se conduce el agua residual, estos se diseñan de manera que funcionen como un canal abierto.

2.2.2.2. Pozos de visita

Los pozos de visita son parte de las obras accesorio de un alcantarillado y son empleadas como medio de inspección y limpieza. Los pozos de visita pueden ser prefabricados o contruidos en la obra. Según las normas generales para el diseño de alcantarillados del Instituto de Fomento Municipal (INFOM), los pozos de visita se deben ubicar en:

- Cambio de diámetro de tuberías
- Cambio de pendientes
- En cambios de dirección horizontal para diámetros menores de 24”
- En las intersecciones de tuberías colectoras

- En el inicio de cada ramal
- A distancias no mayores de 100 m. en línea recta, en diámetros hasta de 24”.
- A distancias no mayores de 300 m. en diámetros superiores de a 24”

2.2.2.3. Conexiones domiciliarias

El objetivo de la conexiones domiciliarias es transportar las aguas provenientes de las casas o edificios y descargarla en el colector central. La conexión domiciliar consta de dos elementos:

- Candela, construida con tubo de concreto colocado verticalmente, con un diámetro no menor de 12”. El tubo debe estar impermeabilizado por dentro y tener una tapadera para realizar inspecciones.
- Tubería secundaria o de acometida, cuya función es conectar la candela con la tubería principal o colector. Debe tener un diámetro mínimo de 6 pulgadas y una pendiente mínima de 2 %. La conexión con la tubería central se hará en el medio diámetro superior, a un ángulo de 45 °, con respecto al eje central de la tubería principal.

2.2.2.4. Desfogue final o punto de descarga

El punto de descarga es el lugar donde termina el sistema de alcantarillado y las aguas servidas son vertidas a un cauce superficial natural.

La descarga es un elemento no típico de los sistemas de alcantarillado, es decir, que cada descarga será diferente según las condiciones del lugar donde se coloque. Requiere de algunas estructuras especiales para garantizar la

permanencia ante la erosión, avenidas máximas de los flujos naturales de agua y otros elementos que pudieran dañarla.

2.2.3. Tipos de tubería utilizadas en un alcantarillado

En las comunidades rurales se tiende a utilizar dos clases de tuberías para drenaje: las tuberías de concreto y las de PVC.

Dependiendo del diámetro, las tuberías de concreto se pueden encontrar con refuerzo y sin refuerzo; y la principal ventaja con respecto al PVC es el bajo costo, aunque es importante señalar que este tipo de tubería está quedando prácticamente descontinuada.

La tubería de PVC utilizada para alcantarillado sanitario es aquella que cumple con la Norma ASTM 3034. Este tipo de tubería proporciona una serie de ventajas en el diseño hidráulico debido al valor relativamente bajo del coeficiente de rugosidad. Asimismo, proporciona una serie de ventajas en la construcción del alcantarillado sanitario.

2.3. Aspectos y especificaciones técnicas en el diseño de un drenaje sanitario

El tipo de tubería a utilizar será factor influyente en el cuadro de diseño, debido a la diferencia en el coeficiente de rugosidad entre los distintos materiales. Podría además influir sobre la determinación del diámetro mínimo a utilizar, así como las pendientes de diseño. Además, es factor determinante en el período de vida útil del sistema.

2.3.1. Diámetro de tubería

El diámetro mínimo de tubería que se utiliza para el diseño de alcantarillado sanitario, es de 6 pulgadas para tubería de PVC y de 8 pulgadas para las de concreto. Esto se debe a requerimiento de flujo, limpieza y para evitar obstrucciones que puedan dañar la tubería.

2.3.2. Pendientes, velocidades máximas y mínimas permitidas

En el diseño de drenaje sanitario se procura que la tubería tenga una pendiente paralela a la del terreno, sin embargo existen algunos casos en los cuales esto no es posible, ya sea por factores técnicos o económicos.

En los tramos iniciales es muy frecuente que las pendientes produzcan velocidades por debajo de la mínima debido al poco caudal transportado. En este caso se le proporciona una pendiente mayor a la tubería, con el objetivo de alcanzar una velocidad cercana a la mínima.

Cuando, al contrario, la pendiente del terreno es demasiado pronunciada, es necesario disminuir la pendiente de la tubería, teniendo el cuidado de cumplir con las velocidades permitidas y que la cota Invert de salida sea mayor que la mínima permitida.

La velocidad mínima está condicionada por los materiales sólidos orgánicos e inorgánicos que se sedimentan en la tubería debido al efecto de estancamiento. Por lo tanto la velocidad de flujo debe tener la fuerza suficiente para arrastrar la materia sólida y evitar que esta se acumule en la tubería.

Las velocidades altas están condicionadas por la erosión que éstas causan en las tuberías, especialmente a las hechas de concreto. Debido a estas razones en las normas de diseño se establecen los siguientes límites de velocidades:

Tabla VI. **Rango de velocidades de diseño para drenaje sanitario**

TIPO DE TUBERÍA	VELOCIDAD MÍNIMA	VELOCIDAD MÁXIMA
PVC	0,40 m/s	4,00 m/s
CONCRETO	0,60 m/s	3,00 m/s

Fuente: elaboración propia, con base en Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados, INFOM. p. 21.

2.3.3. Profundidad de tubería

La colocación de la tubería debe hacerse a una profundidad tal que dicha tubería no se vea afectada por las cargas transmitidas por el tráfico. Se debe tener cuidado que la profundidad de la tubería sea suficiente para poder drenar los accesorios más bajos del predio a servir, también que no sea tan profunda que resulte antieconómica la instalación.

Los límites establecidos para a profundidad mínima de tubería son:

Tabla VII. **Profundidad mínima para la instalación de tubería**

TIPO DE TRÁFICO	PROFUNDIAD (m.)
Liviano (2 menor a 2T)	1,00
Pesado (mayor a 2T)	1,20

Fuente: elaboración propia, con base en normas generales para el diseño de alcantarillados, INFOM. p. 21.

Estos límites pueden variar de acuerdo al criterio del proyectista, ya que las condiciones del terreno o la ubicación de la tubería pueden influir en la instalación.

El fondo de la zanja deberá ser de tal forma que provea un apoyo firme y uniforme a lo largo de toda la longitud de la tubería, si esto no se cumple se deberá retirar el suelo natural y colocar un relleno adecuado para garantizar la estabilidad de la tubería.

El ancho de la zanja deberá tener un ancho lógico que permita a los operarios la instalación de la tubería y los accesorios.

2.3.4. Período de diseño

Se le llama así al tiempo durante el cual la obra diseñada presentará un servicio satisfactorio.

Para determinar el período de diseño se debe tomar en cuenta la vida útil de los materiales a utilizar, expectativas de crecimiento y desarrollo de la población, dificultad de hacer ampliaciones de las obras existentes o a construir.

2.3.5. Población de diseño

La estimación de la población futura es un factor muy importante que debe ser lo más cerca de la realidad, puesto que de éste cálculo dependerá la cantidad de personas que utilizarán el servicio al final del período de diseño.

Dicha estimación influye en los diámetros de tubería a utilizar por lo que tiene una relación directa con el costo del sistema.

2.3.6. Métodos para el cálculo de población futura

La proyección del crecimiento poblacional durante el tiempo se puede determinar de varias maneras, a continuación se describen los métodos más comunes utilizados en el contexto del país.

2.3.6.1. Método aritmético

Consiste en considerar que el crecimiento de una población es constante, es decir, de forma lineal durante el tiempo. Suponiendo un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. Dicho método no toma en cuenta la tasa de crecimiento poblacional. La ecuación es la siguiente:

$$Pf = P_0 + \frac{(P_0 - P_1) \times N_0}{N_1}$$

Donde:

Pf = población futura

Po = población del último censo

P1 = población del penúltimo censo

No = tiempo entre el último censo y el que se busca

N1 = tiempo entre el último censo y el penúltimo censo

Este método se puede aplicar a comunidades nuevas de un cierto desarrollo, en plena dinámica de crecimiento y con horizontes libres. La desventaja del método es que puede dar un valor estimado de la población por debajo de lo real.

2.3.6.2. Método geométrico

En este método de crecimiento poblacional se supone que la población crece a una tasa constante, obedeciendo a un crecimiento exponencial. La tasa de crecimiento está dada por la siguiente expresión matemática.

$$r = (P_0/P_1)^{1/N_1} - 1$$

Para luego calcular la población futura con la siguiente ecuación:

$$P_f = P_0 * (1 + r)^{N_0}$$

Donde:

Pf = población futura

Po = población del último censo

P1 = población del penúltimo censo

No = tiempo entre el último censo y el que se busca

N1 = tiempo entre el último censo y el penúltimo censo

r = tasa de crecimiento poblacional

El uso de éste método conduce a veces a resultados algo exagerados, en especial para poblaciones nuevas, ya que tienden a tener tasas de crecimiento elevadas, mientras alcanzan la estabilización. Por lo tanto se recomienda para poblaciones que se encuentran bien establecidas y por períodos cortos en el futuro (10 – 15 años).

2.3.7. Factor de Hardmond

Este coeficiente es conocido también como factor de flujo instantáneo, fue desarrollado de forma empírica por W. G. Hardmond y trata de cubrir la variabilidad de las aportaciones por descargas domiciliarias durante el año y el día. Está dado por la fórmula siguiente:

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

Donde:

P = población acumulada en miles de habitantes

El factor de Hardmond no es constante para todo el sistema de alcantarillado, varía para cada tramo de acuerdo al número de habitantes acumulados. Por lo tanto, también es diferente el factor de flujo actual al de flujo futuro.

2.3.8. Caudal de diseño

Para poder estimar el caudal de aguas residuales que conducirá el alcantarillado en los diferentes tramos, se tendrá que seguir el procedimiento siguiente:

- Determinar el caudal sanitario
- Calcular el factor del caudal medio
- Establecer el caudal máximo o caudal de diseño

2.3.8.1. Caudal sanitario

El caudal sanitario (Q_s), está en función directa del consumo de agua de la población. Se integra por la suma de los diferentes tipos de caudales que ingresan al sistema de alcantarillado. La ecuación para calcular el caudal sanitario es la siguiente:

$$Q_s = Q_{dom} + Q_{com} + Q_{ind} + Q_{cl} + Q_{inf}$$

Donde:

- Q_s = caudal sanitario
- Q_{dom} = caudal domiciliar
- Q_{com} = caudal commercial
- Q_{ind} = caudal industrial
- Q_{cl} = caudal conexiones ilícitas
- Q_{inf} = caudal de infiltración

2.3.8.1.1. Caudal domiciliar

La cantidad de aguas residuales generadas por una comunidad es menor a la cantidad de agua potable que se le suministra, debido a que existen pérdidas.

El porcentaje de agua que se pierde y no ingresa al sistema de alcantarillado depende de varios factores relacionados con la población, dichos factores se resumen en uno solo llamado factor de retorno. Este representa el porcentaje de la dotación de agua potable que ingresa al sistema de alcantarillado. Es recomendable asumir un valor entre 0,8 a 0,85 para el factor de retorno.

Para el cálculo del caudal domiciliar se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{dom}} = \frac{\text{Pob} * \text{DOT} * \text{FR}}{86\ 400}$$

Donde:

Q_{dom} = caudal domiciliar (L/s)

Pob = población (según el caudal a utilizar será la población actual o la población de diseño).

DOT = dotación de agua potable asignada a la población a servir (l/h/día)

FR = factor de retorno (0,7 – 0,9)

2.3.8.1.2. Caudal comercial

Este caudal está conformado por el agua desechada por los comercios existentes en la comunidad, es decir, restaurantes, hoteles, etc. La dotación

comercial varía según el establecimiento a considerar y puede estimarse entre 600 y 3 000 litros/comercio/día. El caudal comercial se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{\text{com}} = \frac{N_{\text{comercios}} * \text{dotación comercio}}{86\ 400}$$

Donde:

Q_{com} = caudal comercial (l/s)

$N_{\text{comercios}}$ = número de comercios (separado por cada tipo de comercio)

Dotación comercio = dotación comercial (según tipo de comercio
l/comercio/día)

2.3.8.1.3. Caudal industrial

Los caudales de aguas residuales de tipo industrial varían según el tipo y tamaño de la industria. Si no se cuenta con el dato de la dotación de agua suministrada, se puede calcular según el tipo de industria, entre 16 000 a 18 000 L/industria/día.

$$Q_{\text{ind}} = \frac{N_{\text{industrias}} * \text{dotación industrial}}{86\ 400}$$

Donde:

Q_{ind} = caudal industrial (l/s)

$N_{\text{industrias}}$ = número de industrias

Dotación industrial = dotación industrial según tipo de industria (l/industria/día)

2.3.8.1.4. Caudal de conexiones ilícitas

En este caudal se incluye el agua recogida en la red de alcantarillado, procedente de diversos orígenes, tales como bajadas de techos, sótanos, patios y drenajes superficiales, conexiones incorrectas con alcantarillados pluviales, aguas pluviales, escorrentía superficial, aguas de lavado de calles y drenaje en general.

Estos aportes son en función de la efectividad de las medidas de control de calidad de las conexiones domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas de lluvia.

Es por tal razón que se debe calcular dicho caudal, para ello existen distintas maneras, las cuales se describen a continuación:

- Método racional: para el cálculo de este caudal se estima un porcentaje de viviendas que puedan hacer conexiones ilícitas, variando de 0,5 a 2,5 porciento. La fórmula de éste método tiene relación con el caudal producido por las lluvias.

$$Q_{ci} = \left(\frac{C_i A}{360} * 1\ 000 \right) * \% \text{ de viviendas}$$

Donde:

Q_{ci} = caudal de conexiones ilícitas

C = coeficiente de escorrentía

i = intensidad de lluvia (mm/h)

A = área de techos y/o patios (hectáreas)

% de viviendas = porcentaje estimado de viviendas que se pueden conectar ilícitamente.

- Según criterios de UNEPAR-INFOM toman para conexiones ilícitas un 10 % del caudal domiciliar.

2.3.8.1.5. Caudal de infiltración

Es inevitable la infiltración de aguas subsuperficiales a las redes de sistemas de alcantarillado sanitario, principalmente freáticas, a través de fisuras en los colectores, en juntas ejecutadas deficientemente, en la unión de colectores con pozos de inspección y demás estructuras, y en éstos cuando no son completamente impermeables.

Generalmente se calcula por litros diarios por kilómetro de tubería, incluyendo la longitud de tubería de las conexiones domiciliarias, con la suposición de una longitud de 6 metros para cada casa; y utilizando un valor de infiltración que varía entre 16 000 a 18 000 l/Km/día.

$$Q_{inf} = \frac{f \left(\frac{\text{metros de tubería} + \# \text{ de casas} * 6}{1\ 000} \right)}{86\ 400}$$

Donde:

Q_{inf} = caudal de infiltración (L/s)

f = factor de infiltración (L/Km/día)

2.3.8.2. Factor de caudal de diseño

Una vez obtenido el caudal sanitario se puede obtener el factor de caudal medio de la siguiente manera:

$$f_{qm} = \frac{Q_{\text{sanitario}}}{\# \text{ de habitantes}}$$

Según la ya desaparecida Dirección General de Obras Públicas, el factor de caudal medio debe encontrarse entre 0,002 y 0,005. Si el factor se encontrara por arriba del 0,005 se tomará 0,005 y por el lado contrario si está por debajo de 0,002 se toma dicho valor.

2.3.9. Cálculo de cota Invert

Una vez determinados los diámetros y pendientes de la tubería, se procede a calcular Invert al inicio y al final de cada tramo. La cota Invert mínima o de inicio se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Invert entrada} = ht + t + D$$

Donde:

ht = profundidad mínima para tráfico

t = espesor de la tubería

D = diámetro interno

Para determinar la cota Invert de salida de la tubería de corrimiento en un pozo de visita, cada tubo de entrada o tramo inicial que conecte con el pozo en

cuestión debe ser comparado con la tubería de corrimiento, comparando los siguientes criterios:

- Para tuberías del mismo diámetro, la cota Invert de salida debe estar por lo menos tres centímetros por debajo de la cota Invert de entrada.
- Para tuberías de salida con mayor diámetro que la tubería de entrada, la cota Invert de salida debe estar por lo menos a una distancia más abajo igual a la diferencia entre los diámetros de la tubería.
- Para tuberías de salida ubicadas en pozos en los que también están conectados tramos iniciales, la cota Invert de salida de la tubería de corrimiento deberá estar, por lo menos, a una distancia por debajo de la cota Invert de salida del tramo inicial, igual al diámetro de la tubería de salida.

Habiendo comparado en forma individual, cada una de las tuberías de entrada o de tramos iniciales, con las tubería de corrimiento y habiendo obtenido una cota Invert para cada comparación, se toma como cota Invert de salida para la tubería de corrimiento la menor de ellas.

Para el cálculo de la cota Invert de llegada, se utilizan aplicaciones trigonométricas, de la siguiente manera:

$$\text{Cota Invert de llegada} = \text{Cota Invert de salida} - \frac{\text{Pen tubo} * \text{DHef}}{100}$$

Donde:

Pen tubo = pendiente de la tubería

DHef = distancia horizontal efectiva

2.4. Principios hidráulicos

Las alcantarillas basan el funcionamiento en transportar el agua en conductos libres conocidos como canales abiertos, en los cuales el agua circula por acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmosfera. Para el cálculo de las velocidades y caudales, se utilizan las siguientes ecuaciones.

2.4.1. Ecuación de Manning para flujo en canales

Para el cálculo de las propiedades del fluido, se supone un régimen permanente uniforme, es decir, un flujo con velocidad media constante. Esta es una formula experimental, y se deriva de la ecuación de Chezy.

$$v = C\sqrt{RS}$$

Donde:

v = velocidad (m/s)

R = radio hidráulico (m)

C = coeficiente de Chezy

S = pendiente de la tubería

El valor de C está dado por otras fórmulas de diferentes investigadores, en las cuales C se calcula por una serie de elementos que conforman las

características físicas e hidráulicas del canal, las más utilizadas son las siguientes:

- Fórmula de Kutter:

$$C = \frac{\left(23 + \frac{0,00155}{S} + \frac{1}{n}\right)}{1 + \left(23 + \frac{0,0015}{S}\right) \sqrt{\frac{n}{R}}}$$

- Fórmula de Manning:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

Donde:

C = coeficiente de Chezy

n = coeficiente de rugosidad

R = radio hidráulico

La ecuación más utilizada para el diseño de los alcantarillados, es la de Manning. Sustituyendo el valor de C por la ecuación anterior, para obtener lo siguiente:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Tabla VIII. **Coeficientes de rugosidad**

Material	Coeficiente de rugosidad n
Canales cubiertos de piedra	0,030
Tubos de metal corrugado	0,021
Canales de mampostería sin revestimiento	0,015
Tubos de concreto	0,013
Tubo de asbesto cement	0,011
Tubo de PVC	0,010

Fuente: elaboración propia, con base en tabla D.2.2, sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales, sección II título D. p. D34.

- Ecuación a sección llena

Para poder calcular la velocidad real del flujo en los alcantarillados, es necesario calcular la correspondiente a sección llena de la tubería que se está utilizando. Para dicho cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Una vez obtenida la velocidad se calcula el caudal a sección llena, por medio de la fórmula siguiente:

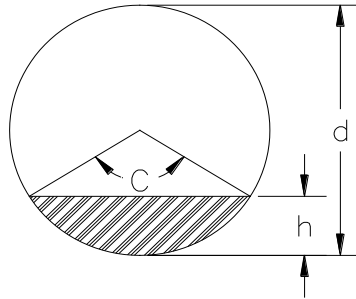
$$Q = Av$$

2.4.2. Ecuación a sección parcialmente llena

Debido a las variaciones de flujo de los alcantarillados, por lo general se diseñan a sección parcialmente llena. Por esta razón es necesario hacer las relaciones correspondientes, para determinar los caudales y velocidades en las tuberías de los alcantarillados.

Las ecuaciones para calcular las características hidráulicas de la sección parcialmente llena, del flujo en las tuberías circulares, se presentan a continuación.

Figura 2. **Tubería parcialmente llena**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

$$A = \frac{d}{4} \left[\frac{\pi C}{320} * \frac{\sin C}{2} \right]$$

$$r = \frac{d}{4} \left[1 - \frac{360 \sin C}{2\pi C} \right]$$

$$v = \frac{1}{n} r^{\frac{2}{3}} s^{\frac{1}{2}}$$

$$q = a * v$$

$$h = \frac{d}{2} \left(1 - \frac{\cos d}{2} \right)$$

Donde:

a = área de la sección parcial

d = diámetro de la tubería

h = tirante de la sección

C = ángulo central

v = velocidad a sección parcial

q = caudal a sección parcial

2.4.3. Relaciones hidráulicas

Es el conjunto de operaciones estrictamente analizadas que dan resultados de una tubería que trabaja a sección parcialmente llena, tales como velocidad, área, caudal, perímetro mojado, tirante y radio hidráulico. Utilizando para ello tablas y gráficas originadas a través de la fórmula de Manning.

Se deberán determinar los valores de la velocidad y caudal a sección llena por medio de las ecuaciones ya establecidas, se procederá a obtener la relación de caudales (q/Q), caudal de diseño entre caudal a sección llena.

El resultado obtenido se busca en la gráfica, sobre 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, el valor obtenido en el eje de las ordenadas se multiplica por el diámetro de la tubería para obtener el tirante del flujo. El tirante debe estar comprendido entre los siguientes valores:

$$0,10 \leq \frac{d}{D} \leq 0,75$$

La relación (v/V) se ubica en el punto de intersección entre la vertical y la curva de relación de caudales que se estableció anteriormente, luego se traza una horizontal hasta interceptar la curva de relación de velocidades.

En este nuevo punto se traza una línea vertical hacia el eje de las abscisas, tomando la lectura de la relación de velocidades, la cual se multiplica por la velocidad a sección llena para obtener la velocidad de la sección parcial.

Se consideran las siguientes especificaciones hidráulicas, para garantizar que el sistema funcione de acuerdo a las normas.

- Caudal de diseño < caudal a sección llena
- La velocidad debe estar comprendida entre:

$$0,4 \leq v \leq 4 \text{ m/s. Para tubería de PVC}$$

$$0,6 \leq v \leq 3,0 \text{ m/s. Para tubería de concreto}$$

Para que exista una velocidad mínima suficiente que garantice que existan fuerzas de arrastre que no permitan la sedimentación y que las velocidades medias no provoquen daños en las tuberías por fricción.

2.5. Obras accesorias en un sistema de alcantarillado

Se denomina así a todos los componentes adicionales al colector principal, necesarios para que el sistema de alcantarillado funcione correctamente. Dentro de los accesorios a utilizar en el sistema que se está diseñando se encuentran:

2.5.1. Pozos de visita

Son obras indispensables dentro de un sistema convencional, ya que nos proveen la capacidad de cambiar dirección, pendiente y tamaño de la tubería. Se forman de los componentes descritos a continuación.

2.5.1.1. Componentes de los pozos de visita

Los pozos de visita forman parte del grupo de accesorios de los sistemas de alcantarillado. Proveen un punto de acceso, con el fin de realizar trabajos de limpieza e inspección. Estos deben tener una abertura adecuada y el espacio necesario para que una persona pueda realizar los trabajos adecuadamente.

Por lo general la forma de los pozos de visita es cilíndrica en la parte inferior y de cono truncado en la parte superior. Las dimensiones deben ser suficientemente amplias para que el personal de operación y mantenimiento pueda ingresar y maniobrar en el interior.

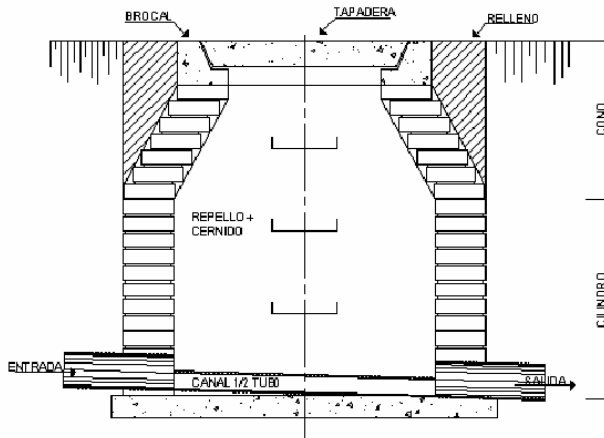
El piso de los pozos es una plataforma con canales que prolongan los conductos y encauzan los flujos, cuando esto se requiera. La parte superior remata en un brocal, donde se coloca la tapadera, ambos construidos generalmente de concreto reforzado.

Las paredes se construyen de ladrillos de barro cocido cuando son pequeños y de concreto cuando son grandes y profundos. Debe tomarse en cuenta la ventilación de los pozos.

Para la ubicación deben tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Inicio del colector
- Cambio de dirección de los colectores
- Cambio de pendiente
- Cambio de dirección
- Cambio de sección
- Intersecciones de colectores
- Entre tramos rectos de colectores a no más de 100 metros de distancia

Figura 3. Partes de un pozo de visita



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

2.5.1.2. Parámetros de diseño

El diámetro de los pozos de visita es generalmente de 1,20 m. Para casos especiales el diámetro se puede considerar de 1,5 a 2,0 m, dependiendo de las dimensiones del afluente. Este diámetro se considera para poder permitir el manejo de varillas y demás elementos de limpieza.

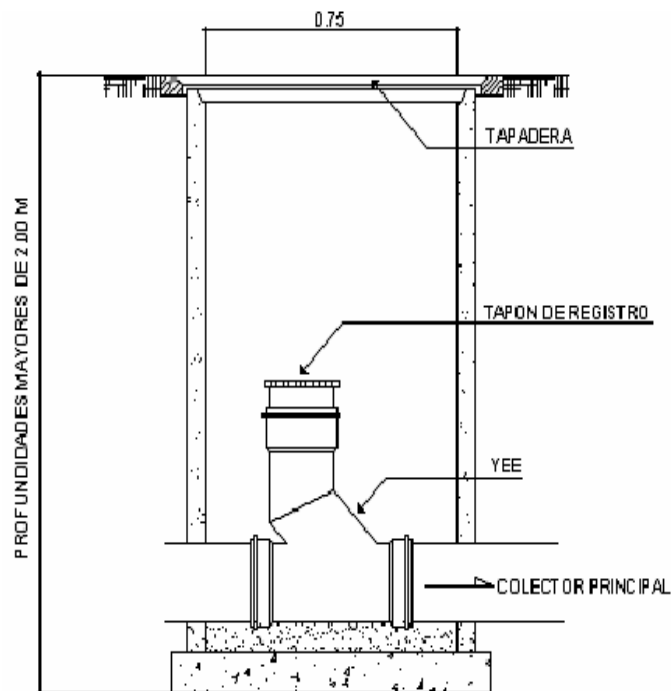
Para la profundidad, se considera que la mínima debe ser de 1,0 m sobre la cota clave del colector afluente más superficial. Si el pozo de visita tiene una altura mayor de 1,50 m, la entrada generalmente se construye de 0,60 m.

De lo contrario se puede extender el cuerpo del cilindro con la misma medida desde el fondo hasta la superficie.

2.5.2. Sistemas de limpieza

Para un mejor funcionamiento en los sistemas de alcantarillado contruidos con tuberías de PVC, se han creado sistemas de limpieza instalados en los pozos de visitas, según lo requiera el diseño o en tramos iniciales.

Figura 4. Sistema de limpieza para alcantarillado sanitario



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

2.5.3. Tanques de lavado

Son depósitos de descarga automática que generalmente se colocan en los extremos de las derivaciones de la red. El objetivo de estos tanques es

producir un lavado especial en la tubería de la alcantarilla y con esto arrastrar sustancias jabonosas y grasas, que junto con los sólidos forman capas en las paredes del alcantarillado que van disminuyendo la sección útil. La idea fundamental es aplicar una corriente de agua con cierta velocidad y altura necesaria, para evitar la sedimentación. El volumen usual de los tanques de lavado es de 900 a 1 200 litros de agua cada 12 a 24 horas, dependiendo de las necesidades.

2.6. Normas y recomendaciones para Guatemala

Existe una gran cantidad de normas, recomendaciones y evaluaciones hechas para el diseño de sistemas de alcantarillado en la región, como por ejemplo la Organización Panamericana de la Salud, con la Guía para el diseño de Tecnologías de Alcantarillado.

En el caso de Guatemala, se ha elaborado un documento titulado Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados, elaborado por el Instituto de Fomento Municipal en 2001, que rige los criterios de diseño para sistemas de alcantarillado. En este documento se puede comprobar que son criterios generales y muy similares a las normas de otros países de la región y será la guía para realizar el diseño del sistema de alcantarillado para la colonia Buena Tierra, Chinique, Quiché.

2.7. Diseño de drenaje sanitario para la colonia Buena Tierra, Chinique, Quiché

En este subtítulo se centra específicamente en el sistema de drenaje sanitario para la colonia Buena Tierra, Chinique de las Flores, departamento del Quiché.

2.7.1. Descripción del proyecto

Consiste en la instalación de tubería de PVC para conducir las aguas residuales de la comunidad, hasta los puntos de tratamiento y disposición final del agua tratada. Por la topografía del lugar fue necesario dividir la comunidad en tres sectores, por lo que se puede decir que se diseñaron tres sistemas de drenaje sanitario independientes para la colonia Buena Tierra, todos con los mismos criterios.

2.7.2. Base de diseño

Los datos obtenidos necesarios para la elaboración del diseño del sistema de drenaje sanitario para la colonia Buena Tierra son los siguientes:

Período de diseño	20 años
Población actual	576 habitantes
Tasa de crecimiento poblacional	3,63 %
Dotación	120 L/habitante/día
Factor de retorno	0,8

2.7.3. Cálculo del sistema

Para el diseño de los componentes del sistema sanitario es necesario determinar varios factores influyentes, además de los cálculos necesarios para determinar si cumple con las normas nacionales con las cuales se está diseñando.

2.7.3.1. Población de diseño

Para calcular la población de diseño se proyectará la población actual con el método geométrico. De acuerdo con el Plan de Desarrollo Municipal (PDM) para el municipio de Chinique de las Flores, Quiché, se tiene una tasa de crecimiento poblacional de 3,63 habitantes por año. Por lo tanto se tiene:

Po = 576 habitantes

No = 32 años

r = 3,63 habitantes/año

$$Pf = Po * (1 + r)^{No}$$

$$Pf = 576 * (1 + 0,0363)^{32}$$

$$Pf = 1\ 803 \text{ habitantes}$$

2.7.3.2. Cálculo de caudales

Para realizar el cálculo hidráulico se utiliza el caudal sanitario, el cual se puede determinar con la suma de los caudales presentados a continuación:

2.7.3.2.1. Caudal domiciliar

Los datos necesarios para el cálculo del caudal domiciliar son:

Población de diseño = 1 803 habitantes

Dotación = 120 litros/habitante/día

Factor de retorno = 0,80

Por lo tanto se tiene:

$$Q_{dom} = \frac{1\ 803 * 120 * 0,8}{86\ 400}$$

$$Q_{dom} = 2,00 \frac{\text{litros}}{\text{segundo}}$$

2.7.3.2.2. Caudal de conexiones ilícitas

Debido a la falta de información de la cantidad de precipitación en la región, se considera pertinente utilizar el criterio del INFOM y UNEPAR para calcular el caudal de conexiones ilícitas, el cual describe que es igual al 10 % del caudal domiciliar. Por lo tanto:

$$Q_{ci} = 0,1Q_{dom}$$

$$Q_{ci} = 0,1 * (2,00)$$

$$Q_{ci} = 0,20 \text{ litros/segundo}$$

2.7.3.2.3. Caudal sanitario

Por lo tanto se obtiene el caudal sanitario de la siguiente manera:

$$Q_s = Q_{dom} + Q_{ci}$$

$$Q_s = 2,00 \text{ l/s} + 0,20 \text{ l/s}$$

$$Q_s = 2,20 \text{ l/s}$$

2.7.3.3. Factor del caudal medio

Para el cálculo del factor del caudal medio se utilizan los siguientes datos:

Pf = 1 176 habitantes

Qs = 2,20 l/s

$$f_{qm} = \frac{2,20}{1\ 803}$$

$$f_{qm} = 0,0012$$

Por lo tanto para el diseño se toma el límite inferior para el factor del caudal medio el cual es 0,002.

2.7.3.4. Ejemplo de tramo

De esta manera se pretende demostrar como se hicieron los cálculos necesarios para realizar el diseño de dicho sistema. El tramo seleccionado al azar es el de la estación 5 a la 7 del sector dos, es decir, del pozo de visita número 6 al 7.

Número de viviendas actual:	3 viviendas
Número de viviendas acumuladas:	8 viviendas
Habitantes por vivienda:	6 habitantes
Longitud:	45 metros
Cota terreno inicial:	975,27
Cota terreno final:	74,52

Cota Invert entrada en pozo 6:

974,33

- Población futura acumulada

$$Pf = 48 * (1 + 0,0363)^{32}$$

$$Pf = 151 \text{ habitantes}$$

- Factor de Hardmon actual:

$$FH = \frac{18 + \sqrt{48/1\ 000}}{4 + \sqrt{48/1\ 000}}$$

$$FH = 4,32$$

- Facto de Harmond futuro:

$$FH = \frac{18 + \sqrt{151/1\ 000}}{4 + \sqrt{151/1\ 000}}$$

$$FH = 4,19$$

- Caudal de diseño sanitario actual:

$$Q_{\text{diseño actual}} = (\text{habitantes}) * (Fqm) * (FH)$$

$$Q_{\text{diseño actual}} = (48) * (0,005) * (4,32)$$

$$Q_{\text{diseño actual}} = 1,037 \text{ l/s}$$

- Caudal de diseño sanitario futuro:

$$Q_{\text{diseño futuro}} = (151) \cdot (0,005) \cdot (4,19)$$

$$Q_{\text{diseño futuro}} = 3,16 \text{ l/s}$$

- Cálculo de la velocidad y caudal a sección llena usando la ecuación de Manning a partir de los siguientes datos:

Pendiente del terreno:	- 2,41 %
Pendiente de la tubería:	- 4,00 %
Diámetro inicial propuesto:	6,00 pulgadas
Coefficiente de rugosidad para PVC:	0,01

Por lo tanto la velocidad será la siguiente:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$v = \frac{1}{0,001} (0,0381)^{\frac{2}{3}} (0,04)^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 2,645 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Con la velocidad obtenida anteriormente se puede obtener el caudal de la siguiente manera:

$$Q = Av$$

$$Q = (0,01824) * (2,2645)$$

$$Q = 0,04131 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q = 41,308 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Comprobación de diseño:

- q diseño actual < Q sección llena : 1,037 l/s < 41,308 ok
- q diseño futuro < Q sección llena: 3,160 l/s < 41,408 ok

Relaciones hidráulicas:

- q diseño actual/Q sec. llena = 1,037/41,308 = 0,025
- q diseño futuro/Q sec. llena = 3,160/41,308 = 0,076

Con el apoyo de las tablas de relaciones hidráulicas se obtiene los siguientes valores para la velocidad y tirante:

- Velocidad actual/velocidad sec. llena = 0,426
- Velocidad futura/velocidad sec. llena = 0,641

Con estos datos se obtiene los siguientes valores:

- Velocidad de diseño actual = $v/V * V$

$$\text{Velocidad de diseño actual} = 0,426 * 2,645$$

Velocidad de diseño actual = 1,127 m/s

- Velocidad de diseño futura = $v/V \cdot V$

Velocidad diseño futura = $0,641 \cdot 2,645$

Velocidad diseño futura = 1,695 m/s

- Según la norma de diseño se solicita que

$0,40 \leq \text{Velocidad de diseño} \leq 4,0 \text{ m/s}$ para tuberías de PVC

$0,1 \leq \text{Relación de diámetros (d/D)} \leq 0,75$

Por lo que se puede comprobar lo siguiente:

$0,40 \leq 1,127 \leq 4,0 \text{ m/s}$ para tuberías de PVC, ok

$0,40 \leq 1,695 \leq 4,0 \text{ m/s}$ para tuberías de PVC, ok

$0,1 \leq 0,110 \leq 0,75$ ok

$0,1 \leq 0,190 \leq 0,75$ ok

2.7.4. Diseño de la red de drenaje sanitario

Debido a la topografía y la distribución de las viviendas dentro de la comunidad, fue necesario dividir el sistema en tres tramos independientes. El resumen de los cálculos y los planos se presentan en el apéndice para no alterar la distribución del presente documento.

2.7.5. Elaboración de presupuesto

Para el cálculo del costo del proyecto se utilizaron 6 renglones para determinar la cantidad de materiales, costo de mano de obra, herramientas y equipos necesarios para poder llevar a cabo la ejecución del drenaje sanitario.

Tabla IX. **Presupuesto general**

No.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO U. Q.	TOTAL Q
1	Trabajos preliminares	2,60	Km	1 399,94	4 159,85
2	Instalación de tubería	452,00	Unidades	1 637,02	739 933,04
3	Pozos de visita	70,00	unidades	5 344,13	374 088,92
4	Conexiones domiciliarias	301,00	Casas	872,18	262 526,19
5	Fosas sépticas	5,00	Unidades	117 856,99	589 284,93
6	Pozos de absorción	3,00	Unidades	40 048,86	120 146,57
GRAN TOTAL				Q	2 090 139,50

Fuente: elaboración propia.

Para poder apreciar la integración de los datos mostrados en la tabla IX, se puede revisar el presupuesto desglosado, que se adjunta en el apéndice de éste documento.

El tiempo estimado de ejecución es de seis meses, mostrándose en la siguiente tabla un plan de ejecución física-financiera.

Tabla X. **Cronograma de ejecución**

No.	Descripción	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Costo total	%		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
1	Trabajos preliminares	■	■																							4 159,85	0,2		
2	Instalación de tubería			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■													739 933,04	35,4		
3	Pozos de visita													■	■	■	■									374 088,92	17,9		
4	Conexiones domiciliarias			■	■	■	■	■	■	■	■	■														262 526,19	12,6		
5	Fosas sépticas																	■	■	■	■	■	■	■	■	589 284,93	28,2		
6	Pozos de absorción																					■	■	■	■	120 146,57	5,7		
COSTO PARCIAL		Q 204 651,70				Q 525 680,00				Q 525 680,00				Q 124 696,31				Q 294 642,46				Q 414 789,04				Q 2 090 139,50		100,0	
COSTO ACUMULADO		Q -				Q 730 331,69				Q 1 256 011,69				Q 1 380 708,00				Q 1 675 350,46				Q 2 090 139,50							

Fuente: elaboración propia.

2.8. Propuesta de tratamiento

El tratamiento de las aguas residuales, antes de la disposición final es de suma importancia para reducir la mayor cantidad de agentes contaminantes. Dicho tratamiento consiste en crear procesos con los cuales los sólidos contenidos son separados parcialmente, de tal manera que el resto de los sólidos orgánicos complejos demasiado putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables.

2.8.1. Diseño de fosas sépticas

En el contexto rural de Guatemala el método más económico disponible para tratar las aguas residuales es el de las fosas sépticas, pero requiere de mantenimiento periódico adecuado para que tenga un buen funcionamiento. Por lo tanto se debe involucrar a los usuarios en dicho proceso para garantizar que el tratamiento de las aguas residuales sea el adecuado y dure el tiempo que se ha estimado en el diseño.

Una fosa séptica es un contenedor hermético que puede construirse de ladrillo, concreto, piedra o cualquier otro material de mampostería.

En este se acumulan las aguas negras y se les da un tratamiento primario, separando los sólidos. La separación de los sólidos se da por sedimentación, además de separar las grasas y jabones en la superficie. Por ende debe tener un período de retención de al menos 24 horas para que se realice el proceso antes descrito.

Los sedimentos acumulados en el fondo son llamados lodos y es necesario extraerlos cada cierto tiempo, según se tenga contemplado en el diseño, ya que éstos reducen la capacidad de la fosa séptica. Tales lodos se vuelven inertes y luego un manejo adecuado se puede utilizar como material de abono en algunas plantas, especialmente en árboles frutales.

Los parámetros que se describen a continuación deben de tomarse en cuenta para el diseño de las fosas sépticas:

- El período de retención debe ser como mínimo de 24 horas
- La relación largo/ancho debe ser de 2 a 4.
- Los lodos acumulados por habitante y por período de limpieza varían entre 30 a 60 L/hab/año.
- La capacidad máxima recomendada de las fosas para que sea funcional debe ser de 60 viviendas.

Para el diseño de las fosas sépticas para la colonia Buena Tierra, se procederá a calcular el volumen necesario de cada una.

Se asume una altura de 2,0 m. para todas las fosas. Ya que no se dispone de maquinaria para realizar las excavaciones a mayor profundidad, además de que en la comunidad se tiene previsto una amplia extensión de terreno disponible para el tratamiento de las aguas residuales.

Tomando en cuenta los parámetros descritos anteriormente, se considera una relación de largo/ancho igual a 2. Esto da un volumen útil de la fosa igual a:

$$V = \text{altura} * \text{largo} * \text{ancho}$$

$$V = 2 * 2a^2$$

Los datos necesarios para determinar las dimensiones de las fosas sépticas son los siguientes:

Sector 1	
Período de retención	24 horas
Dotación	120 l/hab./día
No. Habitantes	620 habitantes
Lodos acumulados	50 l/hab./año
Período de limpieza	5 años
Factor de retorno	0,8

Sector 2

Período de retención	24 horas
Dotación	120 l/hab./día
No. Habitantes	338 habitantes
Lodos acumulados	50 l/hab./año
Período de limpieza	5 años
Factor de retorno	0,8

Sector 3

Período de retención	24 horas
Dotación	120 l/hab./día
No. Habitantes	845 habitantes
Lodos acumulados	50 l/hab./año
Período de limpieza	5 años
Factor de retorno	0,8

A continuación se presentan los cálculos para el dimensionamiento de la fosa de absorción para el sector 1, como ejemplo.

Para el sector 1 y el sector 3 será necesario utilizar más de una fosas para cumplir con la capacidad máxima de 60 viviendas por fosa.

Para el volumen de líquidos se tiene:

Cálculo del caudal:

$$Q = \text{dotación} \times \text{habitantes} \times \text{factor de retorno}$$

$$Q = 120 \text{ l/hab./día} \times 310 \text{ hab.} \times 0,80$$

$$Q = 29\,760 \text{ l/día} = 29,76 \text{ m}^3/\text{día}$$

La cantidad de habitantes a utilizar se determina dividiendo la población total a servir en el sector entre el número de fosas a utilizar, en esta caso son dos, por lo que la cantidad de habitantes es $620/2 = 310$.

Cálculo de volumen:

$$V_{Li} = \text{caudal} \times \text{período de retención}$$

$$V_{Li} = 29,76 \text{ m}^3/\text{día} \times 1 \text{ día}$$

$$V_{Li} = 29,76 \text{ m}^3$$

Para el cálculo de volúmenes de lodos se tiene:

$$V_{Lo} = \text{habitantes} \times \text{dotación anual de lodos} \times \text{período de limpieza}$$

$$V_{Lo} = 310 \text{ hab.} \times 0,050 \text{ m}^3/\text{hab./año} \times 5 \text{ años}$$

$$V_{Lo} = 77,5 \text{ m}^3$$

De los datos anteriores se obtiene el volumen total de la fosa séptica:

$$V_T = \text{volumen de líquidos} + \text{volumen de lodos}$$

$$V_T = 107,26 \text{ m}^3$$

Las dimensiones de la fosa séptica para el sector 1 se determinan de la siguiente manera:

$$V_T = HLA$$

Donde:

H = altura asumida de 2,0m

L = 2 Ancho

Por lo tanto:

$$V_T = 2,0 \text{ m} \times 2A^2$$

$$107,26 \text{ m}^3 = 2,0 \text{ m} \times 2A^2$$

$$A = \sqrt{\frac{107,26}{4}}$$

$$A = 5,18 \text{ m}$$

Por razones constructivas se toma entonces:

$$A = 5,2 \text{ m}$$

$$L = 10,4 \text{ m}$$

$$H = 2,0 \text{ m}$$

Para la fosa séptica del sector dos se realiza el mismo procedimiento anteriormente descrito, obteniendo los siguientes datos:

$$A = 5,50 \text{ m}$$

$$L = 11,0 \text{ m}$$

$$H = 2,0 \text{ m}$$

En el sector 3 se tiene un total de 845 habitantes, por lo que representa 141 viviendas. Para cumplir con los parámetros recomendados se necesitan dos fosas sépticas. Las medidas de las mismas son:

$$A = 5,0 \text{ m}$$

$$L = 10,0 \text{ m}$$

$$H = 2,0 \text{ m}$$

2.8.2. Dimensionamiento de los pozos de absorción

Son estructuras diseñadas para que sean el último proceso dentro del tratamiento de las aguas residuales. En estas estructuras las aguas negras se oxidan para luego infiltrarse en el suelo. Por lo que es de suma importancia considerar la ubicación del nivel freático en la región, así como el tipo de suelo existente.

De acuerdo a entrevistas realizadas, los pobladores han comentado que existen algunos pozos excavados para extraer agua potable, teniendo la mayoría una profundidad media de 9 metros y con espejo de agua de 1,0 metros. Por lo tanto se considera una profundidad de 5,5 metros para todos los pozos de absorción.

En algunos cortes existentes en los alrededores se evidencia que el suelo es uniforme en la región. Estos presentan características adecuadas de infiltración, por lo que si se pueden instalar pozos de absorción para la disposición final de las aguas residuales.

2.9. Evaluación inicial ambiental

El Normativo Nacional especifica la forma que debe hacerse de acuerdo con los requisitos del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, para determinar los factores negativos contra el ambiente, con la intención de reducir lo mínimo el impacto ambiental.

2.9.1. Identificación de los impactos

El sistema de drenaje sanitario para la colonia Buena Tierra, generará impactos negativos y positivos. Para la descripción de estos impactos se van a clasificar de acuerdo a la etapa en que ocurren, dentro de la vida útil del sistema de drenaje.

2.9.1.1. Construcción del Sistema de drenaje

En este proceso los impactos negativos identificados es la saturación del ambiente con polvo, causado por las excavaciones, generación de desechos de productos de construcción, alteraciones al paisaje debido a material extraído de las excavaciones. Para la mitigación de los impactos anteriormente descritos se debe humedecer el material de excavación, utilizar la cantidad exacta de materiales necesarios para evitar que se generen muchos desechos y determinar el sitio más adecuado para la disposición final del material excedente proveniente de las excavaciones.

2.9.1.2. Puesta en marcha

En esta etapa se contempla la saturación del aire con gases que generan olores desagradables, producidos en el sistema de drenaje.

Para evitar que se prolongue la permanencia de dichos gases, se contempla utilizar una capa de lodos de alguna fosa séptica ya en funcionamiento, para minimizar el tiempo de generación de bacterias encargadas de tratar las aguas residuales.

Además de ingresar al sistema agua extra en las partes iniciales para que se establezca el funcionamiento del mismo, ya que se pueden crear velocidades muy bajas debido a escasos de flujo, mientras los usuarios se adaptan.

2.9.1.3. Operación y mantenimiento

Los impactos generados pueden derivarse por la mala manipulación de los productos resultantes del tratamiento del sistema o por el mal funcionamiento de este. Para ello se debe crear un plan de limpieza adecuado, para garantizar que el sistema funcione adecuadamente.

2.10. Evaluación socioeconómica

En esta sección se determinará la rentabilidad del sistema de drenaje sanitario para la colonia Buena Tierra, Chinique de las Flores, Quiché, con la intención de demostrar que dicho sistema es de carácter social.

2.10.1. Valor Presente Neto

El Valor Presente Neto es de fácil aplicación y de gran utilidad para transformar todos los ingresos y egresos futuros al presente, de tal manera que se pueda determinar fácilmente si los ingresos son mayores que los egresos.

Es el método más conocido para evaluar proyectos de inversión a largo plazo, es importante tener en cuenta que el valor del Valor Presente Neto depende de las siguientes variables:

- La inversión inicial previa
- Las inversiones durante la operación
- Los flujos netos de efectivo
- La tasa de descuento
- El número de periodos que dure el proyecto.

El cambio en el Valor Presente Neto estimado puede ser positivo, negativo o continuar igual. Si es positivo significará que se tendrá un incremento equivalente al monto del Valor Presente Neto. Si es negativo quiere decir que se reducirán las riquezas en el valor que arroje el VPN. Si el resultado del VPN es cero, no existen pérdidas ni ganancias.

Para el caso del drenaje sanitario para la colonia Buena Tierra, se tienen los siguientes datos:

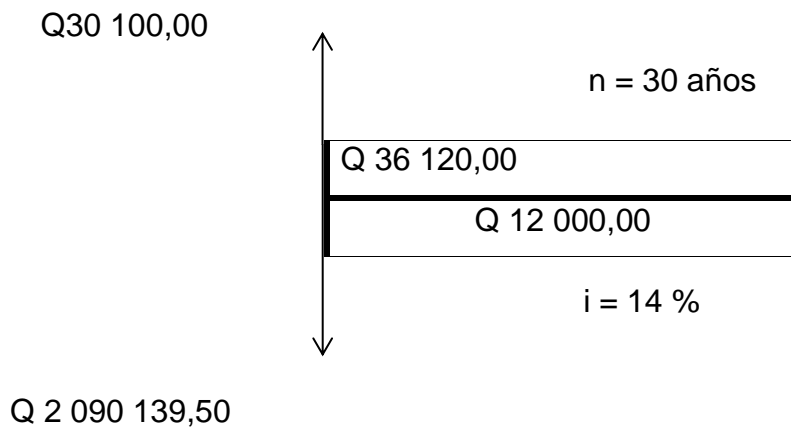
- Costo total del proyecto = Q 2 090 139,50
- Costo mensual por mantenimiento del sistema = Q 1 000,00
- Pago de instalación de acometida por vivienda = Q 3 000,00

- Ingreso mensual de mantenimiento por vivienda = Q 50,00
- Tasa de interés = 14,0 %
- Vida útil del proyecto = 30 años

Se va utilizar el método de línea de tiempo, situando los ingresos y egresos en cada lado, utilizando una tasa de interés del 14 %. Para ello es necesario realizar los siguientes cálculos previos:

- Ingreso inicial 301 viviendas X Q 100,00 por vivienda = Q 30 100,00
- Ingreso anual Q 10,00 X 301 viviendas X 12 meses = Q 36 120,00
- Costo anual mantenimiento Q 1 000,00 x 12 meses = Q 12 000,00

Figura 5. Diagrama de flujo de efectivo



Fuente: elaboración propia.

De la figura anterior se tiene

$$\text{VPN} = - \text{Q } 2\,090\,139,50 + \text{Q } 30\,100,00 - \text{Q } 12\,000(1,14)^{30} + \text{Q } 36\,120,00(1,14)^{30}$$

$$\text{VPN} = - \text{Q } 831\,121,68$$

Claro está que este tipo de proyecto es de carácter social, por lo que era de esperarse obtener un valor negativo de VPN.

2.10.2. Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno se define como la tasa en la cual, el valor presente neto se hace igual a cero; es decir, el punto de equilibrio entre las pérdidas y ganancias de un proyecto.

El cálculo de la Tasa Interna de Retorno se puede realizar proponiendo dos tasas de utilidad diferentes, con las cuales se procede a calcular las respectivas cantidades que representan el valor presente neto.

Se propone una tasa de 10 % obteniendo:

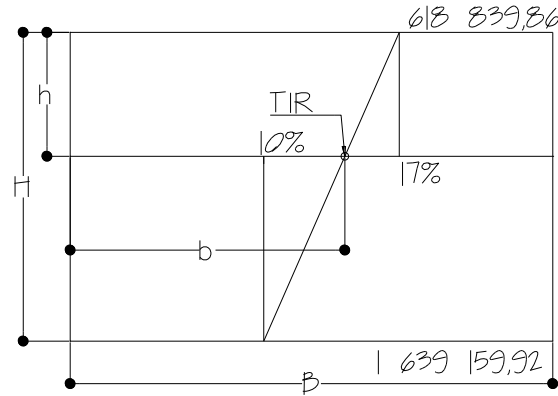
$$\text{VPN} = - \text{Q } 2\,090\,139,50 + \text{Q } 30\,100,00 - \text{Q } 12\,000(1,10)^{30} + \text{Q } 36\,120,00(1,10)^{30}$$

$$\text{VPN} = -1\,639\,159,92$$

Y para una tasa de 17 % el resultado obtenido es el siguiente:

$$\text{VPN} = 618\,839,86$$

Figura 6. **Diagrama Tasa Interna de Retorno**



Fuente: elaboración propia, con programa de Autocad.

Del diagrama de la figura 6 se obtiene a través de una relación de triángulos semejantes lo siguiente:

$$B = 7.0 \%$$

$$b = X$$

$$H = Q\,1\,639\,159,92 + Q\,618\,839,86 = Q\,2\,257\,999,78$$

$$h = 618\,839,86$$

Donde se obtiene el valor de x:

$$x = B \cdot h / H = 7\% \cdot Q\,618\,839,86 / Q\,2\,257\,999,78$$

$$x = 1.92\%$$

Obteniendo entonces una Tasa Interna de Retorno igual a:

TIR = 11.92 %

Que da un valor negativo, demostrando que el proyecto no tiene ninguna utilidad, pero que se justifica la ejecución por ser de carácter social.

3. FASE DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

3.1. Manual de operación y mantenimiento del sistema

El sistema de drenaje sanitario para la colonia Buena Tierra, Chinique de las Flores, Quiché como todo sistema se debe de operar adecuadamente y darle el mantenimiento respectivo, para que pueda funcionar adecuadamente a lo largo del período de vida útil.

Es por ello que se debe involucrar a la población beneficiada, haciéndolos partícipes dentro de la operación y mantenimiento del sistema. Esto se debe llevar a cabo con el apoyo indiscutible de la Municipalidad, jugando papel de ente rector; para que el sistema pueda funcionar adecuadamente.

3.1.1. Programa de mantenimiento

Para un adecuado mantenimiento del sistema, se debe crear un programa correctivo y preventivo de los colectores principales, pozos de visita, conexiones domiciliarias, fosas sépticas y pozos de absorción.

El programa preventivo debe ser el resultado de las inspecciones periódicas al sistema y que permitan detectar con anticipación puntos potencialmente críticos. En este caso se recomienda una frecuencia de inspección de 6 meses como mínimo.

Para la elaboración del manual de Operación y Mantenimiento, la comunidad debe organizarse y crear un comité de mantenimiento del sistema.

Para ello se debe involucrar al INFOM, ya que a través de ellos se puede evaluar la mejor metodología acorde al contexto de la población y así garantizar la completa comprensión de los encargados del mantenimiento.

CONCLUSIONES

1. El sistema de drenaje sanitario para la colonia Buena Tierra, se dividió en tres sectores independientes, debido a la topografía del lugar. Con una longitud total de 2 712 metros, 452 tubos de PVC de 6" para drenaje, 70 pozos de visita, 5 fosas sépticas y 3 pozos de absorción.
2. La construcción del sistema de drenaje sanitario tendrá un costo total de Q 2 090 139,50 lo que equivale a \$261 267,45 americanos.
3. La evaluación socioeconómica realizada demuestra el carácter social de este proyecto.
4. El mantenimiento del sistema se va desarrollar en una acción tripartita, involucrando a los vecinos beneficiados, la Municipalidad de Chinique, Quiché y al Instituto de Fomento Municipal.

RECOMENDACIONES

1. Involucrar a la comunidad beneficiada, desde el inicio, la ejecución y el mantenimiento del sistema de drenaje, para que se apropien del sistema y pueden cuidarlo de mejor manera.
2. Capacitar a toda la población de la comunidad con temas para el uso adecuado del sistema, así como otros temas relacionados con hábitos de higiene.
3. La tarifa para el mantenimiento del sistema se debe determinar en asamblea general, demostrando claramente las necesidades de cobrar dicha tarifa.
4. La Municipalidad debe ejercer el papel de ente rector y velar que se cumpla con el mantenimiento del sistema, garantizando de esta manera el buen funcionamiento del mismo.
5. El mantenimiento del sistema se va desarrollar en una acción tripartita, involucrando a los vecinos beneficiados, la Municipalidad de Chinique, Quiché y al Instituto de Fomento Municipal.

BIBLIOGRAFÍA

1. CABRERA RIEPELE, Ricardo Antonio. *Apuntes de ingeniería sanitaria 2*. Trabajo de Graduación de Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1989. 134 p.
2. GONZALES MORASSO, Rodolfo. *Normas generales para el diseño de redes de alcantarillado*. Guatemala: Dirección General de Obras . Púbricas Departamento de Proyectos Sanitarios. 1967. 22 p.
3. MONZÓN SAMAYOA, Carlos Alberto. *Planificación y diseño del drenaje sanitario de la aldea Loma Larga, Amatitlán, departamento de Guatemala*. Trabajo de Graduación de Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2009. 111 p.
4. Instituto de Fomento Municipal. *Normas generales para diseño de alcantarillados*. Guatemala: INFOM, 2001. 24 p.
5. Reglamento técnico del sector de agua y saneamiento básico. Sección II, título D, *Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales*. Bogota: Ministerio de Desarrollo Económico. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2000. 102 p.

APÉNDICE

1. Libreta topográfica.
2. Hojas de cálculo
3. Planos
4. Presupuesto