



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

**ANÁLISIS DE LAS GUÍAS PARA DISEÑO DE ALCANTARILLADO DE GUATEMALA, CON
EL FIN DE PROPONER UN PROYECTO DE NORMA**

Gensuya Ji Won Jung Ordoñez

Asesorado por el Ing. Civil, Guillermo Francisco Melini Salguero

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LAS GUÍAS PARA DISEÑO DE ALCANTARILLADO DE GUATEMALA, CON
EL FIN DE PROPONER UN PROYECTO DE NORMA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GENSUYA JI WON JUNG ORDOÑEZ

ASESORADO POR EL ING. CIVIL GUILLERMO FRANCISCO MELINI
SALGUERO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
EXAMINADOR	Ing. José Estuardo Galindo Escobar
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
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:

**ANÁLISIS DE LAS GUÍAS PARA DISEÑO DE ALCANTARILLADO DE GUATEMALA, CON
EL FIN DE PROPONER UN PROYECTO DE NORMA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 12 de mayo de 2020.

Gensuya Ji Won Jung Ordoñez

Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero

Ingeniería Civil, Sanitaria y Ambiental. Avalúos

Colegiado 2548

Guatemala, 6 de septiembre 2021.

Ingeniero
Pedro Aguilar Polanco
Jefe del Área de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria

Ingeniero Aguilar:

Por medio de la presente hago constar que como Asesor del trabajo de Graduación denominado **ANÁLISIS DE LAS GUÍAS PARA DISEÑO DE ALCANTARILLADO DE GUATEMALA, CON EL FIN DE PROPONER UN PROYECTO DE NORMA**, de la estudiante GENSUYA JI WON JUNG ORDOÑEZ número de carné 2016 02862; el mismo ha sido concluido a satisfacción del suscrito y de acuerdo con los requisitos establecidos.

Por lo que doy la aprobación de este y solicito se continúe con los trámites respectivos para su aprobación.

Sin otro particular, me es grato saludarle, Atentamente;



Guillermo Francisco Melini Salguero
Ingeniero Civil, colegiado No. 2548
Asesor

Guatemala, 07 de septiembre de 2021

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Ingeniero Fuentes:

Le informo que he revisado el trabajo Final de Graduación, **ANÁLISIS DE LAS GUÍAS PARA DISEÑO DE ALCANTARILLADO DE GUATEMALA, CON EL FIN DE PROPONER UN PROYECTO DE NORMA**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil, **Gensuya Ji Won Jung Ordoñez Registro Académico: 201602862**, quien contó con la asesoría de el **Ing. CIVIL Guillermo Francisco Melini Salguero**.

Considero el Trabajo bien desarrollado y representará un aporte Académico para la comunidad y esta Casa de Estudios, habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo, por lo que solicito su aprobación al mismo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A

TODOS



Ing. Civil Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe Del Departamento de Hidráulica

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
U S A C

Cc: Estudiante xxxxxxxxxx
Archivo



ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco al trabajo de graduación de la estudiante Gensuya Ji Won Jung Ordoñez **ANÁLISIS DE LAS GUÍAS PARA DISEÑO DE ALCANTARILLADO DE GUATEMALA, CON EL FIN DE PROPONER UN PROYECTO DE NORMA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Fuentes Roca
Director Escuela Ingeniería Civil

Guatemala, octubre 2021
/mrrm.





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG.597.2021

La Decana 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: **ANÁLISIS DE LAS GUÍAS PARA DISEÑO DE ALCANTARILLADO DE GUATEMALA, CON EL FIN DE PROPONER UN PROYECTO DE NORMA**, presentado por la estudiante universitaria: **Gensuya Ji Won Jung Ordoñez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser siempre quien guía mi camino, por darme la vida, sabiduría y porque me ha permitido alcanzar esta tan preciada meta.
- Mi madre** María Ordoñez, por ser mi ejemplo, por su apoyo incondicional, por cuidar siempre de mí, por la paciencia, comprensión y por permanecer siempre junto a mí.
- Mi abuelo** Asunción Ordoñez, por todo el amor hacia mi persona, por darme el ejemplo de perseverancia y por todas las enseñanzas que marcaron mi vida.
- Mi familia** Por todo el cariño, por ser quienes influyen en mi vida, por apoyo y por motivarme siempre a ser mejor persona y a lograr mis metas.
- Mis amigos** Por permanecer siempre a mi lado, Yanelin Pineda, Mariah Díaz, Marisol López, Tarcí Queché, Alexander Pérez, Ada Contreras, Paola Santos, Jeremy Nufio, Gabriela de León, Ludwig Núñez, y todos aquellos que tienen un lugar en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme la oportunidad de crecer académica y profesionalmente, por ser mí casa de estudios durante todos estos años y darme el privilegio de ser egresada de esta gran universidad.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme el conocimiento necesario para poder desarrollar y culminar una de mis grandes metas.
Mis amigos de la Facultad	Por haber formado parte de una de las grandes experiencias en mi vida, por todo el aprecio hacia mi persona, cariño y ayuda que me brindaron durante estos años.
El ingeniero	Ing. Guillermo Melini, por brindarme su asesoría, apoyo y paciencia para la elaboración de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Historia del alcantarillado en Guatemala y su estado actual	1
1.1.1. Estado actual	3
1.2. Historia actual de normas y guías empleadas a nivel Regional, Norteamérica y Suramérica	5
1.2.1. Nivel Regional.....	5
1.2.1.1. Normas generales para el Diseño de Alcantarillados INFOM, Guatemala	5
1.2.1.2. Normas Técnicas para el Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras, El Salvador	6
1.2.1.3. Normas de Diseño para Alcantarillado Sanitario, Alcantarillado Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales, Honduras	7
1.2.1.4. Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de	

	tratamiento de Aguas Residuales, Nicaragua.....	7
1.2.1.5.	Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial: Costa Rica	8
1.2.2.	Norteamérica.....	9
1.2.2.1.	Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario, México	9
1.2.2.2.	Sanitary Sewer and Water, Design Standards, USA.....	10
1.2.3.	Suramérica.....	11
1.2.3.1.	Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM, Colombia	11
1.2.3.2.	Reglamento Nacional de Edificaciones Norma OS. 070, Redes de aguas residuales y Norma OS.100 Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria, Perú.....	12
1.2.3.3.	Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, Bolivia.....	13
1.3.	Documentos existentes.....	13
2.	GUÍAS EXISTENTES EN GUATEMALA.....	15
2.1.	¿Qué es una guía?.....	15
2.2.	Diferencia entre guía y norma	15
2.3.	Análisis y comparación entre guías.....	16

2.3.1.	Análisis de las guías	16
2.3.1.1.	Guía para el Manejo de Excretas y Aguas residuales Municipales	16
2.3.1.2.	Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados: Instituto de Fomento Municipal -INFOM-, Guatemala	19
2.3.1.3.	Normas Técnicas para el Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras, El Salvador	22
2.3.1.4.	Normas de Diseño para Alcantarillado Sanitario, Alcantarillado Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales, Honduras	25
2.3.1.5.	Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de tratamiento de Aguas Residuales, Nicaragua	26
2.3.1.6.	Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial: Costa Rica.....	31
2.3.1.7.	Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario, México	35
2.3.1.8.	Recommended Standards for Wastewater Facilities, USA.....	42
2.3.1.9.	Redes de Alcantarillado Simplificado...	45

2.3.1.10.	Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de Empresas Públicas de Medellín, Colombia.....	46
2.3.1.11.	Norma OS. 070 Redes aguas residuales, Perú	52
2.3.1.12.	Norma OS. 100 Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria, Perú.....	54
2.3.1.13.	Norma NB 688 Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, Bolivia.....	56
2.3.2.	Comparación entre guías	61
3.	PROPUESTA DE NORMA DE DISEÑO	67
3.1.	Estudios preliminares	67
3.1.1.	Ubicación.....	67
3.1.2.	Clima	68
3.1.3.	Características de la población	68
3.1.4.	Condiciones sanitarias	69
3.1.5.	Sistema de abastecimiento de agua	69
3.1.6.	Levantamiento topográfico	69
3.1.6.1.	Métodos para efectuar levantamientos	70
3.1.6.2.	Nivelación.....	71
3.1.6.3.	Detalles	71
3.1.6.4.	Libreta de campo.....	72
3.2.	Estudios técnicos	72
3.3.	Materiales.....	73

3.4.	Caudales	74
3.4.1.	Caudal doméstico	74
3.4.2.	Caudal comercial	75
3.4.3.	Caudal industrial	76
3.4.4.	Caudal de infiltración	76
3.4.5.	Caudal de conexiones ilícitas	76
3.5.	Diseño	79
3.5.1.	Parámetros de diseño.....	79
3.5.1.1.	Período de diseño.....	80
3.5.1.2.	Población.....	80
3.5.1.3.	Estimación de áreas tributarias.....	82
3.5.1.4.	Puntos de descarga.....	83
3.5.1.5.	Caudal sanitario.....	84
3.5.1.6.	Caudal medio diario de aguas residuales	85
3.5.1.7.	Caudal máximo horario final	86
3.5.1.8.	Caudal de diseño.....	86
3.5.1.8.1.	Factor de caudal medio.....	87
3.5.1.8.2.	Factor de Harmon.....	88
3.5.1.9.	Diámetro nominal mínimo	90
3.5.1.10.	Velocidad mínima	90
3.5.1.11.	Pendiente.....	91
3.5.1.12.	Sifones.....	91
3.5.1.13.	Continuidad de tuberías.....	91
3.6.	Cálculos hidráulicos.....	92
3.6.1.	Relaciones hidráulicas	94
3.7.	Profundidad de las tuberías.....	97
3.8.	Ubicación de la tubería	98

3.9.	Pozos de visita	98
3.10.	Separación de sistemas	99
3.11.	Planos	100
4.	NECESIDAD DE UNA NORMA	103
4.1.	Definición de Norma.....	103
4.2.	Necesidad de una norma en Guatemala.....	103
4.3.	Importancia de una norma	104
4.4.	Consecuencias por la falta de una norma	105
5.	RESULTADOS ESPERADOS	107
	CONCLUSIONES.....	109
	RECOMENDACIONES	111
	BIBLIOGRAFÍA.....	113
	ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Acueducto de Pinula	2
2.	Tipo de servicio sanitario en el año 2 018, datos a nivel nacional.....	4
3.	Pendientes mínimas recomendadas	40
4.	Gráfico de la relación entre el flujo máximo por hora y el flujo promedio de diseño.....	43
5.	Coeficiente de rugosidad correspondiente a profundidades del flujo, diferentes al diámetro interno de la tubería	93
6.	Relación tirante y diámetro.....	96

TABLAS

I.	Tipo de saneamiento en los años 2002 y 2006.....	3
II.	Tipo de saneamiento en el año 2018	4
III.	Manejo de aguas residuales domésticos en Centroamérica	17
IV.	Comparación de varios tipos de alcantarillado	18
V.	Factores dependiendo el diámetro del colector.....	23
VI.	Período de diseño económico para las estructuras de los sistemas....	29
VII.	Distancia máxima entre pozos	30
VIII.	Profundidad de colocación de la tubería (casos especiales).....	33
IX.	Dimensiones de los pozos de concreto.....	34
X.	Diámetro interno por tipo de pozo según tubería de salida	35
XI.	Velocidades máximas y mínimas permisibles	38
XII.	Separación entre pozos de visita	41

XIII.	Pendiente mínima recomendada	44
XIV.	Asignación del Nivel de Complejidad (Tomado del RAS 2 000)	48
XV.	Distancias horizontales mínimas entre redes	50
XVI.	Valores de profundidad hidráulica máxima según el diámetro interno de la tubería	52
XVII.	Distancia máxima entre pozos de visita	53
XVIII.	Período de diseño	56
XIX.	Comparación entre las guías y normas	61
XX.	Determinación del caudal doméstico	75
XXI.	Coeficientes utilizados en Guatemala	78
XXII.	Fórmulas para la intensidad de lluvia	79
XXIII.	Aplicación de métodos de cálculo para la estimación de la población futura	82
XXIV.	Coeficiente de rugosidad	94
XXV.	Especificaciones hidráulicas	97
XXVI.	Diámetro mínimo de los pozos de visita	99

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
d	Altura del tirante de agua
A	Área
q	Caudal de diseño
Q	Caudal a sección llena
cm	Centímetro
PVC	Cloruro de polivinilo
C	Coeficiente de escorrentía
n	Coeficiente de rugosidad
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
D	Diámetro de la tubería
ENCOVI	Encuesta Nacional de Condiciones de Vida
Fqm	Factor caudal medio
FR	Factor de retorno
Hab	Habitante
Ha	Hectárea
h	Hora
INFOM	Instituto de Fomento Nacional
INSIVUMEH	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
INE	Instituto Nacional de Estadística
km	Kilómetro
lt	Litro
m	Metro

mm	Milímetro
S	Pendiente
in	Pulgada
s	Segundo
SIG	Sistema de Información Geográfica
V	Velocidad a sección llena
v	Velocidad de flujo en la tubería

GLOSARIO

Agua potable	Es agua sanitariamente segura y agradable a los sentidos. Es agua incapaz de transmitir enfermedades.
Aguas residuales	Son las aguas que han recibido uso y cuyas cualidades han sido modificadas.
Altimetría	Rama de la topografía que se encarga en la medición de alturas entre dos puntos.
Caudal	El volumen de agua por unidad de tiempo en un determinado punto de análisis.
Censo	Lista oficial de habitantes y las características sociales y económicas de acuerdo con el lugar de residencia.
Coefficiente de escorrentía	Es la relación entre la parte de la precipitación que circula de manera superficial y la precipitación total.
Coefficiente de rugosidad	Es un índice que determina el grado de resistencia del flujo en un canal.
Colector	Conjunto de tuberías, pozos de visitas y obras accesorias que se emplearán para la descarga de aguas negras o aguas pluviales.

Cuerpo receptor	Lugar donde se descargan las aguas residuales provenientes de un colector.
Disposición de excretas	Soluciones para confinar y tratar las heces fecales de manera que no ocasionen contaminación ambiental ni riesgos a la salud humana.
Dotación	Estimación de la cantidad de agua que consume un habitante por día.
Efluente	Agua que sale de un medio de tratamiento y la cual ha sido sometida a operaciones y procesos.
Escorrentía	Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie del terreno.
Excretas	Residuos o sustancias de desecho que son eliminadas por el organismo.
Intensidad de lluvia	Cantidad de agua que cae por unidad de tiempo en un sitio determinado.
Nivelación	Procedimiento topográfico para determinar las elevaciones en puntos específicos.
Planimetría	Parte de la topografía que trata la medición y representación de la superficie terrestre sobre una superficie plana.

Pozo de visita	Estructuras construidas con el objeto de proporcionar acceso tanto a ramales principales como a los colectores, con el fin de inspección y limpieza.
Punto de descarga	El sitio en el cual el efluente de aguas residuales confluye en el cuerpo receptor o con otro efluente de aguas residuales.
Septicidad	Condición producida por el crecimiento de organismos anaerobios.
Sifones invertidos	Son tramos de drenaje que trabajan a presión con el objeto de pasar por debajo de una corriente de agua u otro obstáculo.
Sumidero	Estructura que tiene como finalidad la recolección de agua pluvial de escorrentía e impedir el ingreso de sólidos de gran tamaño.
Tirante	Profundidad del flujo desde el punto más bajo de la sección del canal o tubería hasta la superficie libre de agua.
Topografía	Ciencia la cual consiste en describir y representar en un plano la superficie o el relieve de un terreno.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación es el desarrollo de una propuesta de norma de diseño para sistemas de alcantarillado en Guatemala, en donde se encontrarán los requerimientos mínimos para un diseño apropiado para la población a beneficiarse, además incluye los estudios necesarios que se deben de realizar antes de comenzar con el diseño y finalmente los planos requeridos.

En el primer capítulo consta de forma clara sobre los antecedentes la situación actual del sistema de alcantarillado en Guatemala y posteriormente, la historia de las normas y guías utilizadas a nivel regional, suramericano y norteamericano.

El segundo capítulo está enfocado al análisis y comparación entre las guías y normas utilizadas para el desarrollo del trabajo de graduación.

En el tercer capítulo se desarrolla la propuesta de norma, en donde se indican los estudios preliminares, estudios técnicos, requerimientos mínimos para el diseño hidráulico y el juego de planos que son requeridos para representar el sistema de alcantarillado.

En el capítulo cuatro indica la necesidad de una norma en Guatemala y las consecuencias de no tener una en el país y finalmente, en el último capítulo se plantean los resultados esperados de la propuesta de norma de diseño para sistemas de alcantarillado en Guatemala.

OBJETIVOS

General

Analizar las guías existentes en Guatemala para el diseño de sistemas de alcantarillado y realizar una propuesta de Norma de diseño aplicada a Guatemala.

Específicos

1. Realizar un análisis y comparación de guías acorde a sistemas de alcantarillado para realizar la adaptación al medio.
2. Proponer una Norma de diseño para sistemas de alcantarillado en base a las guías analizadas aplicado a Guatemala.
3. Establecer criterios y requisitos que se deben de cumplir para el sistema de alcantarillado, con la finalidad de que dichos sistemas cumplan con los parámetros de diseño.

INTRODUCCIÓN

Es importante el tratamiento de agua residuales, con esto se desea mejorar la calidad de vida de la población, mantener los ecosistemas y preservar el recurso fundamental del ser humano, como es el agua sanitariamente segura.

“En Centroamérica, los recursos de inversión para sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas ha sido pobre a comparación de lo invertido para el abastecimiento de agua potable a las comunidades”.¹

Se han realizado investigaciones y se ha concluido que la mayoría de los sistemas de tratamiento para aguas residuales no funcionan de manera óptima, dichos problemas de funcionamiento se deben que en el sistema entra más caudal para el cual fue diseñado y el abandono de estos sistemas debido a la mala planificación y que las instituciones encargadas de su operación, mantenimiento, monitorio y vigilancia no se hicieron a cargo.

El método que se empleará es recolectar información de las guías y normas empleadas en Guatemala para el diseño de sistemas de alcantarillado. Se realizará un análisis, el cual permita proponer un nuevo proyecto de norma que facilite el diseño de dichos sistemas y que dicha norma sea de carácter obligatorio.

Actualmente, en Guatemala se encuentran reglamentos municipales de la Ciudad de Guatemala y las llamadas Normas de Diseño de Alcantarillado del

¹ SALAZAR, Doreen & PROARCA. *Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales*. p. 1.

Instituto de Fomento Municipal (INFOM), las cuales necesitan una revisión y actualización, con dicha información se espera llegar a los resultados esperados, como lo es la norma de diseño la cual deberá incluir información que permita diseñar sistemas funcionales, seguros y eficientes en donde se hará uso de criterios, requisitos, valores de diseño y se deberán de cumplir parámetros para un diseño pertinente y que brinde a la población una solución y mejore sus condiciones de vida.

1. ANTECEDENTES

Los sistemas de alcantarillados son obras hidráulicas que tiene como objeto la recolección, conducción y disposición de aguas servidas y aguas pluviales, con esto se trata de evitar que se originen problemas de higiene e inundaciones. Estos sistemas transportan las aguas servidas desde el punto donde se originan hasta el sistema donde se van a tratar o descargar en el caso de agua pluvial.

Las aguas residuales son aguas que han cambiado sus propiedades debido a su uso, provenientes de sistemas de agua potable. Estas se constituyen en su totalidad por uso doméstico, comercial, industrial, entre otros. Sin embargo, no toda el agua que fue abastecida vuelve al alcantarillado, esto se debe en cierta medida que esta es descargada fuera de un sistema de alcantarillado.

Se asegura que cuando se ha determinado que la aplicación de sistemas individuales no es adecuada para controlar la contaminación del ambiente y el peligro de la salud, se emplean los sistemas de alcantarillados.²

1.1. Historia del alcantarillado en Guatemala y su estado actual

Para el año 1820, la población de Guatemala se quejaba de lo poco que estaba desarrollado el país en el tema de sistemas de drenaje.³

² SALAZAR, Doreen & PROARCA. *Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales*. p. 30.

³ MOLLINEDO, Fernando. *Agua en Guatemala*. <https://guatehistoria.com/breve-historia-del-agua-en-guatemala/>. Consulta: 7 de septiembre de 2020.

En los años 1827 y 1828, Henry Dunn en su visita por Guatemala, relata que “lo que distingue a Guatemala de las otras ciudades de Nuevo Mundo, son los numerosos acueductos y pailas para la distribución de agua en toda la metrópoli”.

En el año 1885, el alcantarillado de aguas residuales comenzó a ser real en el país y con el tiempo se lograron construir las dos primeras redes en la ciudad capital, los cuales aún siguen en funcionamiento. En el año 1897 se introdujo tubería de hierro fundido y hierro galvanizado, con el propósito de reducir el uso de tuberías de barro cocido. Los acueductos se introdujeron con el fin de distribuir el agua que llegaba al Valle de la Ermita, mediante los acueductos de Pinula y Mixco, desde la avenida Bolívar y 20 calle de la zona 1, donde se originaba el sistema primario de suministro.⁴

Figura 1. **Acueducto de Pinula**



Fuente: MARTÍNEZ, Brenda. *Así llegó el agua a la ciudad*.

<https://www.prensalibre.com/vida/escenario/asi-llego-el-agua-a-la-ciudad/>. Consulta: 12 de mayo de 2021.

⁴ MOLLINEDO, Fernando. *Agua en Guatemala*. <https://guatehistoria.com/breve-historia-del-agua-en-guatemala/>. Consulta: 7 de septiembre de 2020.

1.1.1. Estado actual

De acuerdo con Lentini al referirse del servicio de saneamiento dice lo siguiente:

Para el año 2002, el servicio de saneamiento ha mejorado a nivel nacional en un 47 %, el cual surge como promedio de 77 % en las zonas urbanas y un 17 % en las zonas rurales. Del 47 % señalado, el 36 % contaba con conexión a redes de drenaje. En el departamento de Guatemala y Sacatepéquez, las coberturas de saneamiento de conectado a redes de drenaje son del 69 % en hogares o viviendas. En Suchitepéquez, Quetzaltenango, Chimaltenango, Escuintla y Zacapa dicha cobertura esta entre el 30 % y 40 %. Los demás departamentos se encuentran entre el 10 % y 30 % de hogares que están conectados a redes de sistemas de alcantarillado. El departamento de Petén es del 2 %.⁵

Las viviendas han mejorado de un 47 % en el año 2002 y al 54 % en el año 2006. En dichos años ha existido un aumento de redes de alcantarillado de 36 % al 40 %.

Tabla I. **Tipo de saneamiento en los años 2002 y 2006**

Tipo	2002	2006
Inodoro conectado a red de drenaje	36 %	40 %
Inodoro conectado a fosa séptica	6 %	7 %
Excusado lavable	5 %	7 %
Letrina o pozo ciego	39 %	37 %
No tiene	15 %	9 %

Fuente: LENTINI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito.* p 12.

⁵ LENTINI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito.* p. 12.

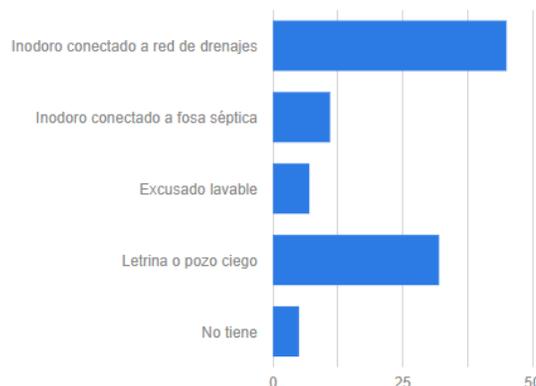
Para el año 2018, hubo un incremento del servicio de saneamiento en Guatemala, de un 40 % a un 45 y el 5 % de la población aún no cuenta con uno. Los departamentos que más cuentan con una cobertura de saneamiento son Guatemala y Sacatepéquez y Petén es el departamento que sigue con un bajo porcentaje de hogares que están conectados a una red de alcantarillado.

Tabla II. **Tipo de saneamiento en el año 2018**

Tipo	2018
Inodoro conectado a red de drenajes	45 %
Inodoro conectado a fosa séptica	11 %
Excusado lavable	7 %
Letrina o pozo ciego	32 %
No tiene	5 %

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). XII. <https://www.censopoblacion.gt/explorador>
Censo Nacional de Población y VII de Vivienda, 2018. Consulta: 19 de mayo 2021.

Figura 2. **Tipo de servicio sanitario en el año 2018, datos a nivel nacional**



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). XII. <https://www.censopoblacion.gt/explorador>
Censo Nacional de Población y VII de Vivienda, 2018. Consulta: 19 de mayo 2021.

1.2. Historia actual de normas y guías empleadas a nivel Regional, Norteamérica y Suramérica

Se desarrolla brevemente la historia actual de las normas y guías que se emplean en Guatemala para el diseño de redes de alcantarillado sanitario, a nivel regional, Norteamérica y Suramérica.

1.2.1. Nivel Regional

La norma de diseño que se utiliza en Guatemala son las Normas Generales para el Diseño de Alcantarillado del Instituto de Fomento Municipal –INFOM-. Además, también se hace uso de normas de diseño de otros países, como la Norma de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín (EPM).

1.2.1.1. Normas generales para el Diseño de Alcantarillados INFOM, Guatemala

Instituto de Fomento Municipal por sus siglas INFOM, es una institución creada en 1957 con el fin de promover el progreso de los municipios, donde se otorga asistencia tanto como técnica, administrativa y financiera. Estas normas fueron aprobadas por la Junta Directiva de INFOM con resolución No. 420-2001 de fecha 13 de noviembre de 2001.

La norma diseñada por dicho instituto describe el conjunto de criterios generales para realizar el diseño de un sistema de alcantarillado elaborados para las comunidades en el Interior de la República de Guatemala. El contenido de dicha norma es recopilación de la experiencia de la Dirección General de Obras

Públicas y el INFOM, la cual se ha venido aplicando y experimentando con el paso del tiempo.

1.2.1.2. Normas Técnicas para el Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras, El Salvador

Las normas ordenan un conjunto de requisitos los cuales deben de satisfacer los proyectos de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado de Aguas Negras, los puntos esenciales a incluir es su nivel de precisión, valores de coeficientes y parámetros básicos, formulas, procesos de cálculo y diseño.

Las Normas vigentes hasta la fecha para el Diseño y Construcción de Acueductos y Alcantarillado Sanitario fueron elaborados en el año 1967. El siguiente documento de Las Normas, fueron aprobadas por La Honorable Junta de Gobierno de ANDA en octubre de 1997.

La Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillado concluye que “las normas se deben de adaptar a los principios científicos, avances tecnológicos, investigación aplicada y experiencia para las soluciones a problemas específicos. Es por esto se ha trabajado para la elaboración de las nuevas “Normas Técnicas para el Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario de Aguas Negras” que sustituirán a las de 1967”.⁶

⁶ ANDA. *Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras*. p. II

1.2.1.3. Normas de Diseño para Alcantarillado Sanitario, Alcantarillado Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales, Honduras

El Servicio Autónomo Nacional de Acueductos y Alcantarillado -SANAA- es una Institución del Estado que fue creada el 26 de abril de 1961 y publicado por el Órgano Oficial “La Gaceta” el 23 de mayo de 1961. Organismo el cual fue creado para normalizar, diseñar, construir y supervisar sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario de Honduras.⁷

La función de SANAA es prestar los servicios de agua potable y el saneamiento en toda la república. SANAA es autónomo del estado, con personería jurídica, capacidad jurídica y patrimonio propio, con el fin de promover el desarrollo de los abastecimientos públicos de agua potable.

1.2.1.4. Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de tratamiento de Aguas Residuales, Nicaragua

El Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA) es un ente que regula sector de agua potable y saneamiento. Estas guías fueron creadas en el año 1976 y tienen con objeto dirigir el diseño de sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales y que esto aporte en crear nuevos sistemas y ampliar los proyectos ya existentes.

⁷ SANAA. *Historia*. <http://www.sanaa.hn/index.php/nosotros/historia-sanaa>. Consulta: 20 de agosto de 2020.

INAA asegura que antes de la creación de estas guías, se aplicaban criterios norteamericanos, debido a esto no se obtenían los resultados que se esperaban y estos proyectos eran mayores que los que técnicamente era necesario.

1.2.1.5. Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial: Costa Rica

A y A indica que el comienzo de la historia del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado dio inicio con la Asamblea Legislativa la cual integraba una comisión con el fin de estudiar el proyecto de ley (...), primero se hizo mediante la Ley de Aguas emitida en el año 1942, posteriormente se emitió en el año 1953 la Ley General de Agua Potable donde se imponían regulaciones a los organismos administradores para que fijaran tarifas adecuadas.⁸

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados -A y A- está comprometido con el bienestar y el desarrollo del país y de la prestación sostenible de agua potable y de saneamiento.

La norma técnica establece requisitos técnicos generales aplicables a los sistemas de abastecimiento de agua potable, de recolección, tratamiento y disposición de aguas residuales. Estos requisitos brindan el marco técnico-normativo conceptual y metodológico, orientador del diseño y construcción de proyectos de iniciativa pública o privado y son la base para la revisión y aprobación de estos proyectos por AyA.

⁸ Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (A y A). *Historia*. <https://www.aya.go.cr/conozcanos/SitePages/Nuestra%20Historia.aspx>. Consulta: 7 de septiembre de 2020.

1.2.2. Norteamérica

En esta sección se presenta la historia de las normativas para el diseño de redes de alcantarillado a nivel Norteamérica.

1.2.2.1. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario, México

CONAGUA agregan que La Comisión Nacional del Agua, CONAGUA, con ayuda de organismos operadores encargados del sistema de agua potable, alcantarillado y saneamiento son quienes actualizan distintos aspectos del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) con la finalidad de dar servicio a los ingenieros, técnicos y mantenimiento de los proyectos.⁹

Existen documentos para el diseño de alcantarillado en México como manuales y lineamientos técnicos. Los principales son los siguientes:

- Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS) de CONAGUA. Este es el principal referente sobre el diseño de estos sistemas en México. CONAGUA es la heredera de la tradición hidráulica y con el paso de los años, esta ha sido integrada por profesionales y especialistas de distintas disciplinas, estos profesionales han sido reconocidos por su capacidad técnica y dedicación.
- Normas y Lineamientos Técnicos para las instalaciones de Agua Potable, Agua Tratada, Drenaje Sanitario y Drenaje Pluvial de los Fraccionamientos

⁹ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. p. I

y Condominios de las Zonas Urbanas del Estado de Querétaro (CEA Querétaro). Es un normativo local con buen sustento y solicitudes precisas para las necesidades locales.¹⁰

1.2.2.2. Sanitary Sewer and Water, Design Standards, USA

Los estándares de diseño de esta normativa son aplicables a las mejoras de agua en los municipios de Marion, Howell, Ocala y Génova. Los estándares en los sistemas de alcantarillado sanitario únicamente se aplican en los municipios de Génova y Ocala.

Se creó el Comité de Desarrollo de Normas Uniformes para obras de Alcantarillado. Este comité se encuentra integrado por representantes de distintos estados a los cuales se les otorgó la responsabilidad de revisar las normas existentes para obras de alcantarillado y preparar la posibilidad de estándares en conjunto aplicados a los estados representados.

Esta norma es usada para el diseño y la estructuración de planos, además también se enfoca en sistemas de tratamiento y recolección de aguas residuales más convencionales.

¹⁰ CABRERA, Manuel y MÉNDEZ, Ernesto. *Norma para el diseño de Drenaje Pluvial Urbano, Alcances y Oportunidades*. p. 1

1.2.3. Suramérica

En esta sección se desarrolla la historia actual de las normas vigentes empleadas a nivel suramericano para el diseño de sistemas de red de alcantarillado.

1.2.3.1. Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM, Colombia

EPM (2021) afirma que Empresas Públicas de Medellín se creó el 6 de agosto de 1955. A través del acuerdo No. 58, donde Consejo Administrativo de Medellín fusionó en un establecimiento autónomo cuatro entidades que hasta ese momento eran independientes: energía, acueducto, alcantarillado y teléfonos.¹¹

EPM es un conjunto de empresas el cual se definen a tiempo las opciones para un nuevo entorno de los servicios públicos.

Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM se hicieron con el propósito de especificar criterios básicos, requisitos y aquello que se debe de considerar en el diseño de sistemas de alcantarillado. Esta norma se enfoca principalmente en los ingenieros proyectistas y todos aquellos que influyen en el diseño de los sistemas.

¹¹ Empresas Públicas de Medellín. *Historia*. <https://www.epm.com.co/site/home/nuestra-empresa/historia>. Consulta 27 de mayo de 2020.

1.2.3.2. Reglamento Nacional de Edificaciones Norma OS. 070, Redes de aguas residuales y Norma OS.100 Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria, Perú

Las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones -RNE son elaboradas a través de representantes que están involucrados en temas que respectan a la norma. Parte de estos representantes están conformado por universidades, institutos de investigación y consultores de renombre. El RNE contiene 69 Normas Técnicas Peruanas, con el propósito de normar criterios y requisitos para el diseño y la ejecución.

La Norma OS. 070 es una norma la cual establece los criterios y requisitos a considerar para el diseño hidráulico de redes de alcantarillado sanitario, fijando las condiciones que se necesitan para la elaboración de estos proyectos.

La Norma OS. 100 indica las consideraciones básicas para el diseño de la infraestructura sanitaria y además especifica las actividades básicas en la operación y el mantenimiento preventivo y correctivo de los elementos que integran los sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario, de esta manera para incrementar la vida útil de estos.

1.2.3.3. Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, Bolivia

En consecuencia, a los avances que han existido para el diseño y construcción de sistemas de alcantarillado y evacuación de aguas residuales y pluviales, se realizó la actualización de la norma NB 688 para añadir criterios y formulas las cuales se ajustan a la realidad.

Este reglamento se aplica al país y es de importancia que los diseñadores, ejecutores y supervisores cuenten con conocimiento para aplicar los criterios y requisitos de estos reglamentos, además se podrán aplicar criterios constructivos o de diseño que no se encuentren indicados en la norma, siempre y cuando estos se justifiquen debidamente.

1.3. Documentos existentes

Se hará uso de los siguientes documentos. Estos documentos se analizarán posteriormente y se hará una comparación entre estos de la información recolectada.

- Guía para el Manejo de Excretos y Aguas Residuales Municipales: PROARCA, Centroamérica, 2004.
- Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados: Instituto de Fomento Municipal -INFOM-, Guatemala, 2001.
- Normas Técnicas para el Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras, El Salvador, 1994.
- Normas de Diseño para Alcantarillado Sanitario, Alcantarillado Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales, Honduras, 2004.

- Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de tratamiento de Aguas Residuales, Nicaragua, 2005.
- Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial: Costa Rica, 2017.
- Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario: México, 2009.
- Recommended Standards for Wastewater Facilities: USA, 2014
- Redes de Alcantarillado Simplificado: Roberto Mejía Ruiz, Colombia, 1993.
- Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de Empresas Públicas de Medellín: Colombia, 2009.
- RNE Norma OS. 070 Redes de aguas residuales: Perú, 2009.
- RNE Norma OS. 100 Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria: Perú, 2009.
- Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, Bolivia, 2007.

2. GUÍAS EXISTENTES EN GUATEMALA

2.1. ¿Qué es una guía?

Una guía en Ingeniería Civil es un documento el cual orienta hacia un objetivo. Dicho documento indica los requerimientos mínimos o distintos criterios que se pueden tomar en cuenta cuando se está realizando un diseño en distintas disciplinas. Una guía no es de carácter obligatorio, ya que estos documentos brindan un enfoque de los pasos que se deben de seguir para llegar a cumplir el objetivo planteado, estos explican su contenido siendo un material de estudio.

2.2. Diferencia entre guía y norma

Una norma es realizada con el fin de establecer los lineamientos en un ámbito en específico. Las guías permiten dirigir de forma correcta la acción que se desea realizar, este debe de ser respetada por la persona encargada de realizar los proyectos en los distintos ámbitos en la ingeniería civil.

La diferencia entre una guía y una norma es que la norma es de carácter obligatorio, el cual se debe de cumplir cada requisito descrito en este el ingeniero ejecutor en el diseño de los proyectos debe de cumplir con las normativas aplicadas en la rama de ingeniería civil en la cual se está trabajando. A diferencia de la guía, esta es empleada en ingeniería civil, pero esta no es de carácter obligatorio, en estos documentos describen procedimiento y lineamientos, sirve como base de ayuda al usuario de estos documentos.

2.3. Análisis y comparación entre guías

Se analizarán de las normas y guías vigentes en cada país y posteriormente se desarrollará la comparación entre esta en base a la información recopilada.

2.3.1. Análisis de las guías

A continuación, se realizará un análisis de cada guía existente en Guatemala, en el cual se examinará la información que se encuentre en cada una de estas.

2.3.1.1. Guía para el Manejo de Excretas y Aguas residuales Municipales

- La situación en Centroamérica respecto a los servicios sanitarios y el tratamiento de las aguas residuales, en base a la siguiente tabla indican que las aguas residuales son recolectadas y depositadas en cuerpos de agua sin tratamiento.
- La cantidad de aguas residuales que genera un habitante depende de la posibilidad que este tenga al acceso de agua potable y de sus hábitos de consumo. En Centroamérica, el promedio de agua residuales que se genera varía entre los 100 y 200 litros de agua por persona.

Tabla III. Manejo de aguas residuales domésticos en Centroamérica

País	Población con acceso a agua Urbana/Rural (%)	Población con acceso a letrina o alcantarillado sanitario Urbana/Rural (%)	Efluente de alcantarillado sanitario con tratamiento (%)
Belice	100/81	71/25	57
Costa Rica	99,6/92	89/97	4
El Salvador	92/25	86/50	2
Guatemala	98,8/70	95/71	1
Honduras	94/70	94/50	3
Nicaragua	95/34	93/56	34
Panamá	88/86	99/86	18

Fuente: SALAZAR, Doreen. *Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales*. p 1.

- La separación de la orina ayuda a reducir los malos olores que generan los sólidos y el tratamiento de este con mayor eficiencia. La separación de la orina simplifica el manejo de este debido a que no contiene microorganismos patógenos en cantidades significantes.
- Para cada tipo de sistema de alcantarillado que se emplee, este difiere en el tratamiento que se requiera y para el tipo de agua que transporte. A continuación, se presenta una tabla que detalla el sistema de alcantarillado y detalla el tratamiento que se debe de realizar a estos

Tabla IV. **Comparación de varios tipos de alcantarillado**

Tipo de alcantarillado	Tipo de agua que transporta	Diámetros de tubería (in)	Tratamiento requerido
Alcantarillado pluvial	Agua de lluvia, lavado de calles	12 – 72	Para esta agua no se exige en Centroamérica, pero si fuese posible es apropiado retener esas aguas y filtradas por una capa de grava o grama.
Alcantarillado sanitario sin arrastre de sólidos (de flujo decantado o de pequeño diámetro)	Aguas efluentes de fosas sépticas, de origen doméstico, comercial e industrial	2 – 10	Tratamiento para reducir patógenos (microorganismos), sedimentos y material disuelto (los sólidos se remueven antes de la descarga en el alcantarillado).
Alcantarillado sanitario, simplificado (condominal)	Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales, una porción de infiltración	4 – 10	Tratamiento para remover sólidos, reducir patógenos, sedimentos y material disuelto.
Alcantarillado sanitario convencional	Agua lluvia y aguas residuales	6 – 200	Tratamiento para remover sólidos, reducir patógenos, sedimentos y material disuelto.
Alcantarillado combinado	Agua de lluvia y aguas residuales	12 – 200	Tratamiento para reducir patógenos, sedimentos y material disuelto. Se complica y encarece el tratamiento por el mayor volumen de caudal.

Fuente: SALAZAR, Doreen. *Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales*.

p 31.

- La principal desventaja de los sistemas de alcantarillado simplificado o condominal es que requieren cuidado permanente y atención en la operación y mantenimiento más recurrente a diferencia de los sistemas de alcantarillado sanitario tradicional. Por otro lado, la ventaja principal para estos sistemas es que ahorran de un 20 % a un 60 % en los costos de construcción.
- En los sistemas de alcantarillado siempre es mejor evitar el bombeo. Es por esto que se diseñan sistemas donde se aprovechan las pendientes naturales del terreno. Si en el sistema es necesaria una estación de bombeo, se deben de tomar en cuenta los siguientes aspectos:
 - El equipo que se empleará deberá de tener un recubrimiento para evitar la corrosión en las piezas de metal.
 - Es necesaria la construcción de un tanque de almacenamiento en la estación del bombeo, esto con la finalidad de un funcionamiento eficiente de la bomba, pero debido a que el agua pasa un periodo largo estancada, el agua inicia el proceso de descomposición, por ende, esto provoca malos olores.
 - El costo adicional de la limpieza del tanque de almacenamiento por el proceso de sedimentación.

2.3.1.2. Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados: Instituto de Fomento Municipal -INFOM-, Guatemala

- Se deben de hacer investigaciones preliminares para la elaboración de un sistema de alcantarillado, estas investigaciones las realizará personal calificado que será el responsable de los datos que han sido recolectados. De las investigaciones que se realicen, se deberá de hacer un informe el cual irá indicado el propósito, resultados, observaciones y las

recomendaciones que sean necesarias. Entre las investigaciones preliminares, se encuentran las siguientes:

- Ubicación: El cual será localizada en un plano 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), en el cual se indicará el área determinada en el diseño del sistema.
- Clima: Se dispondrán datos según los registros del INSIVUMEH tomados de la estación más cercana.
- Se deberán recolectar datos sobre la población como el número de habitantes actuales, número de viviendas, actividades principales de la población, costumbres especiales de los habitantes, industrias existentes y las instituciones que ahí se encuentren.
- Las condiciones sanitarias de la localidad como los sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas, sistemas de recolección y disposición de basuras, tipo y condiciones de las viviendas y cualquier otro aspecto que esté relacionado a dicho tema.
- Se deberá de determinar el sistema de abastecimiento de agua de la población, como la fuente de abastecimiento, sistemas de conducción, planta de purificación, número de servicios instalados, consumo diario por habitante, sistema de administración del servicio y el estado económico del sistema.
- Se realizará el levantamiento topográfico, para ello se tendrá en cuenta el área edificada y el desarrollo, en donde se incluirán las calles, alineación municipal, edificios, carreteras y todas aquellas estructuras naturales y artificiales que influyan en el diseño.
- Para la realización del diseño de los sistemas de alcantarillado, se indicará el tipo de diseño que se usará, tomando en cuenta si la población no cuenta con un sistema, si el sistema que cuenta es combinado y los sistemas se diseñarán por gravedad, con conductos parcialmente llenos,

pero si es indispensable un sistema de bombeo se deberá de diseñar colectores como sistemas por gravedad con conductos parcialmente llenos hasta la fosa de succión del equipo de bombeo.

- Los sistemas de alcantarillado se proyectarán durante el periodo de 30 a 40 años a partir de la fecha en la que se desarrolle el diseño.
- Se estimará la población que tributarán caudales al sistema al final del periodo de diseño. Se podrá hacer uso de alguno de los siguientes métodos: Incremento geográfico, Incremento aritmético, Incremento o porcentaje decreciente y la proyección gráfica.
- La estimación de las áreas tributarias se realizará de acuerdo con la localidad estudiada que se considerará formando un todo con las áreas adyacentes y que sean tributarias al sistema por razones topográficas, demográficas y urbanísticas. También se deberá de fijar la capacidad y la profundidad de los colectores.
- El caudal de diseño se diseñará para cada tramo del sistema, el cual será la suma del caudal máximo doméstico, caudal de infiltración caudal ilegal por agua de lluvia que se conectan en patios o bajadas de techos. Para el caudal ilegal se agregará el 10 % del caudal doméstico. En áreas donde no hay drenaje pluvial se podrá hacer uso de un valor mayor.
- El diámetro mínimo para alcantarillado sanitario será de 8 in para tubería de concreto y de 6 in para tubería de PVC. Para conexiones domiciliarias, el diámetro mínimo será de 6 in en tubería de concreto y de 4 in en tubería de PVC. En la candela de registro domiciliar, la cual será un diámetro mínimo de 12 in.
- La velocidad mínima como caudal de diseño será de 0,60 m/s y velocidad máxima será 2,50 m/s.
- La profundidad mínima de las tuberías con respecto a la superficie del terreno será de 1,00 m.

- Los pozos de visita se diseñarán en cambios de diámetro y pendiente, cambio de dirección horizontal para un diámetro menor a 24 in, intersección de tuberías colectoras, extremos superiores ramales iniciales, a distancias no mayores a 100 m en línea recta en diámetros hasta 24 in y en distancia no mayores a 300 m en diámetros superiores a 24 in.
- El proyecto de un sistema de alcantarillado deberá de contener una memoria de cálculo en informe técnico, lista de planos, planos, lista de materiales, computo métrico y el presupuesto.

2.3.1.3. Normas Técnicas para el Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras, El Salvador

- El período mínimo de diseño es de 20 años.
- El caudal de diseño para los proyectos de alcantarillado será el 80 % del consumo máximo horario correspondiente al final del periodo de diseño más una infiltración potencial a lo largo de la tubería de 0,20 L/s/Ha para tubería de cemento y 0,10 Ls/Ha para tubería de PVC.
- La velocidad máxima con el caudal de diseño será de 5,00 m/s para tubería PVC, 4,00 m/s para tubería de hierro y 3,00 m/s para tubería de concreto. Los límites de velocidad son para diseños a tubo lleno, sin embargo, podrá diseñarse a caudal real para permitir mayores pendientes en el caso de PVC o similar.
- La capacidad de las tuberías será igual al caudal de diseño multiplicado por un factor, el cual dependerá de la magnitud de las variaciones del caudal.

Tabla V. Factores dependiendo el diámetro del colector

Ø Colector	Factor
8 in ≤ Ø ≤ 12 in	2,00
15 in	1,80
18 in	1,60
24 in	1,50
30 in	1,45
36 in	1,40
42 in	1,35
48 in	1,30
Interceptores y emisarios	1,20

Fuente: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). *Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras*. p 18.

- Los colectores primarios y secundarios tendrán una velocidad mínima real de 0,50 m/s a caudal de diseño durante el primer período de funcionamiento.
- La pendiente mínima en los tramos iniciales de la red de alcantarillado será de 1 %. Para los casos debidamente justificados se aceptará una pendiente mínima de 0,50 % siempre que sea PVC y no en tramos iniciales.
- El diámetro mínimo de tubería será de PVC 6 in si la longitud es menor o igual a 100 m, para las acometidas domiciliarias diámetro de 6 in y colectores terciarios de 8 in ya sea cemento o PVC.
- Para los tramos de conexión domiciliar, los límites de profundidad de tuberías en las zanjas, para protección contra las variaciones de carga viva e impacto serán de 1,20 a 3,00 m de relleno sobre la corona de la tubería. Si el espesor del relleno es menor de 1,20 m habrá que proteger la tubería con losetas de hormigón armado sobre muros laterales de mampostería.

Para profundidades mayores a 3,00 m se diseñarán colectores superficiales paralelos para conectar las acometidas domiciliarias.

- Todo proyecto deberá satisfacer las Normas Técnicas de ANDA. La presentación será integrada a través de una Memoria Técnica del Proyecto que está compuesta por una Memoria descriptiva, Memoria de cálculos Hidráulicos, Memoria de cálculos estructurales y planos.
- La memoria descriptiva deberá de contener los siguiente:
 - Descripción de los antecedentes del proyecto.
 - Información básica del lugar.
 - Ubicación geográfica y política, clima y condiciones geológicas.
 - Topografía con curvas de nivel.
 - Magnitud, estructura, distribución y dinámica población, según levantamientos censales.
 - Características de las viviendas, información catastral y socioeconómica.
 - Estructura dinámica epidemiológica de enfermedades transmisibles relacionadas con el agua consumida, excretas y aguas residuales.
 - Infraestructura de servicios públicos: electricidad, vías de acceso, recolección y disposición final de basuras, salud, comunicaciones, disposición de excretas y aguas lluvias.
- Se requerirán planos y cortes de los diferentes elementos y unidades del sistema. Planos con ubicación, límites y colindantes del terreno, ubicación de ríos, quebradas y obras de arte. Ángulos de alineamiento de tuberías y detalles de anclajes superficiales. Ubicación y numero de pozos de visita. Ubicación de válvulas, hidrantes y accesorios. Profundidades de pozos de visitas y niveles de tapadera, fondo, llegada y salida.

2.3.1.4. Normas de Diseño para Alcantarillado Sanitario, Alcantarillado Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales, Honduras

Sistema de Alcantarillado Sanitario Convencional

- Para los sistemas de alcantarillado sanitario convencional el período de diseño deberá de ser de 20 años.
- La población de diseño será la estimada en el periodo de diseño incluyendo las áreas de influencia. La población que se considerará será el total según los planes reguladores vigentes, de no tener estos datos, se deberá de estimar 6 habitantes por unidad habitacional.
- La velocidad mínima para tubería de PVC será 0,40 m/s y para tubería de concreto la velocidad será de 0,60 m/s. Por otro lado, la velocidad máxima en tubería de PVC será de 5,00 m/s y 3,00 m/s para tubería de concreto.
- El diámetro mínimo será de 8 in para la red colectora, 6 in para laterales iniciales y que no esté en la influencia del área tributaria que conecta a él siempre que no drenen más de 30 lotes, y las acometidas será de 4 in con sus cajas de registro.
- La pendiente no será menos de 0,50 % ni mayor al 15 %. En el caso de las acometidas domiciliarias, las pendientes mínimas serán del 2 % y cuando el terreno no permita pendientes menores al 15 % se deberán de emplear anclajes a cada 10 metros.
- La profundidad mínima será de 1,50 m sobre la corona del tubo para calle vehicular y 1,00 m en calle peatonal. La profundidad máxima será de 4,50 m hasta la invertida de la tubería, para profundidades entre 4,50 y 6,00 m se deberá de hacer una protección especial a 4,50 m en tubería de concreto y 3,60 m en tubería de PVC.

- La distancia horizontal mínima a la que deberá estar la tubería de agua potable respecto a la tubería de alcantarillado sanitario es de 1,50 m y la distancia vertical es de 0,60 m.
- Se deberá presentar un juego de planos con los siguientes aspectos:
 - Plano general del proyecto a escala 1:10 000, en el cual se indicarán los aspectos generales del proyecto tales como la distribución de los lotes, las calles, colindancias, entre otros.
 - Plano de los usos del suelo indicando su respectivo cuadro de áreas.
 - Plano topográfico con curvas de nivel con referencias al nivel medio del mar.
 - Planos completos con el sistema de alcantarillado, donde se incluirán los planos planta-perfil, incluyendo el plano general de la red colectora de aguas negras indicando el punto de descarga y las acometidas de los lotes que tributan al sistema, plano general de la red colectora del sistema de drenaje pluvial indicando las incorporaciones de las áreas tributarias del proyecto y el punto de descarga, memoria Técnica-Descriptiva que contengan los cálculos del sistema.

2.3.1.5. Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de tratamiento de Aguas Residuales, Nicaragua

- Se deberá de hacer un conocimiento del área donde se implantará el sistema, es por esto que es necesaria una investigación con todas las condiciones que signifiquen aporte de datos en el diseño. Los estudios básicos incluirán los siguientes estudios:

- Estudios geológicos que comprenden la ubicación de las fallas geológicas, minas de arena y arcilla, características geológicas de las capas superficiales mediante perforaciones con el fin de determinar los costos de movimiento de tierra.
- Estudios geotécnicos deberán de incluir las características del suelo, como el tipo, granulometría, módulo de elasticidad, valor de soporte, límites de Atterberg, ángulo de fricción interna, cohesión y peso específico.
- Estudios sanitarios donde se realizará un reconocimiento sanitario del lugar, donde incluyan las cuentas hidrográficas de los cursos de agua.
- Estudios hidrológicos que comprenderán los caudales máximos y mínimos de los cursos de agua, recopilación de aforos si existen o determinación del gasto mínimo en épocas de sequía.
- Estudios de obras existentes se deberá de determinar mediante sondeos la localización horizontal, profundidad y diámetro de tuberías existentes de agua potable y drenaje de aguas pluviales, si existiesen, también las instalaciones de cualquier servicio existente para evitar daños o interferencias. Si existe alcantarillado sanitario se tendrá que investigar las condiciones físicas de las tuberías y la capacidad hidráulica para comprobar que se puedan utilizar.
- Estudios topográficos donde se procederán a realizar los levantamientos topográficos donde los estacionamientos no serán mayores a 20 m y se deberán de tomar todos los accidentes entre los estacionamientos, además se conformará a la menor una poligonal cerrada de manera que se logre comprobar el cierre.
- Estudios misceláneos donde se recolectarán datos complementarios a los ya obtenidos en cada investigación como la

climatológica, economía, corrientes migratorias, estadísticas vitales, condiciones de transporte y costo de vida.

- Es importante predecir la población para un número determinado de años, el cual será fijado por el periodo de diseño del sistema. La información para la selección de la tasa de crecimiento con la cual habrá que realizar la proyección de la población en la localidad se podrá conseguir en El Instituto Nicaragüense de Estadísticas y Censos -INEC-, información que provenga de instituciones propias como la Alcaldía, ENEL, ENACAI y MINSAL, si en dado caso no hay datos confiables de la población actual se podrán realizar sensor bajo el asesoramiento de INEC.
- La pendiente de longitud mínima es aquella que produzca una velocidad de auto lavado en el sistema, la cual se podrá determinar haciendo uso del criterio de tensión de arrastre.
- El período de diseño variará dependiendo el tipo de estructura ya que se debe de indicar hasta donde los componentes pueden satisfacer las necesidades futuras de la población. Es por lo que se fijaron los periodos de diseño para cada componente del sistema.

Tabla VI. **Período de diseño económico para las estructuras de los sistemas**

Tipo de estructura	Características especiales	Período de diseño en años
Colectores principales Emisarios de descarga	Difíciles y costosos de agrandar	10 a 50
Tuberías secundarias hasta 375 mm de diámetro		25 o más
Plantas de tratamiento de aguas servidas	Pueden desarrollarse por etapas. Deben considerarse las tasas de interés por los fondos a invertir.	10 a 25
Edificaciones y estructuras de concreto		50
Equipos de bombeo: De gran tamaño Normales		15 a 25 10 a 15

Fuente: Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados -INAA-. *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. p IV-1.

- El diámetro mínimo de las tuberías será de 150 mm. Para el cambio de diámetro de tubería en cualquier tramo deberá de ser igual o mayor que el diámetro del tramo aguas arriba, nunca deberá de ser menor. En conexiones domiciliarias, el diámetro mínimo será de 100 mm en viviendas unifamiliares, para hoteles, hospitales, entre otros, el diámetro se determinará dependiendo la cantidad de artefactos y aplicando el método de Hunter para la obtención del caudal de descarga y la pendiente será entre 1 y 2 % que depende de la profundidad de la red colectora.

- El gasto medio o el caudal medio de las aguas residuales domesticas se deberá de estimar el 80 % de la dotación de consumo de agua. Por otro lado, el gasto mínimo de aguas residuales se deberá de aplicar el 20 % del gasto medio. El gasto máximo de aguas residuales se determinará empleando el factor de la relación de Harmon. El gasto de diseño se deberá de estimar la suma de las contribuciones del gasto máximo, gasto de infiltración, gasto comercial, gasto industrial y gasto institucional o público.
- Se ubicarán pozos de visita o cámaras de inspección en el cambio de alineación horizontal o vertical y en el cambio de diámetro. La distancia máxima entre los pozos de visita dependerá de los métodos y el equipo de mantenimiento.

Tabla VII. **Distancia máxima entre pozos**

Equipo técnicamente avanzado		Equipo tradicional	
Diámetro (mm)	Separación máxima (m)	Diámetro (mm)	Separación máxima (m)
150 – 400	150	150 – 400	100
400 y mayores	200	400 y mayores	120

Fuente: Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA). *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. p VI-1.

- Los pozos de visita se construirán de concreto o ladrillo que este apoyado sobre una plataforma de concreto. Si se hace uso de ladrillo, se deberá de repellar con mortero interna y externamente para poder evitar la infiltración en ambos sentidos. El diámetro del pozo será de 1,20 m para

tuberías de 750 mm de diámetro y menores, para tuberías mayores de 750 mm de diámetro, el diámetro interno del pozo será de 0,60 m.

2.3.1.6. Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial: Costa Rica

- El período de diseño varía en dependiendo de la red. Para red terciaria o red general el período de diseño es de 20 a 25 años, la red secundaria y red primaria el periodo de diseño es de 40 a 50 años, para estaciones de bombeo que se ubican en zonas por desarrollar el período es de 20 a 25 años y para plantas de tratamiento es de 20 a 25 años.
- El caudal de diseño de debe de calcular considerando el caudal de aguas residuales, este se calcula multiplicando un factor de retorno y el caudal promedio diario de agua potable, caudal de contribuciones externas en donde se consideran las redes de alcantarillado adyacentes, existentes o futuras, caudal de infiltración el cual se establece en 0,25 L/s/km cuando la tubería sea de concreto, PVC o PEAD. El caudal mínimo no debe ser menor de 1,50 L/s.
- La velocidad máxima no debe superar los 5,00 m/s y la velocidad mínima se establece en base al análisis de la fuerza tractiva. El criterio que debe regir la pendiente mínima debe ser de la fuerza tractiva mínima de 0,10 kg/m² generado por el caudal mínimo correspondiente a la condición crítica de diseño.
- El tirante hidráulico máximo debe de ser el 75 % del diámetro interno de la tubería en las redes de distribución y de 50 % en colectores y subcolectores.

- En el caso de redes terciarias, el diámetro nominal mínimo debe de ser de 150 mm, para colectores y subcolectores debe de ser mayor a la red terciaria tributaria con mayor diámetro, para ambos casos, la pendiente mínima debe de ser la cual obtenga la velocidad mínima donde se produzca la fuerza tractiva mínima de 0,10 kg/m².
- Una red de saneamiento la cual contemple la recolección de aguas residuales a presión constante, únicamente se permite en condominios, residenciales o comerciales, en donde los propietarios actuaran como ente responsable de la operación y del mantenimiento del sistema interno.
- El diámetro mínimo para conexiones domiciliars para un sistema de saneamiento a presión constante debe de ser de 100 mm.
- Las tuberías del sistema de recolección de aguas residuales deben de ser de sección circular. Las tuberías deben de resistir las cargas permanentes debidas al relleno, cargas temporales y carga vehicular. Se debe de garantizar en el diseño que la tubería no sufra deformaciones que afecten su funcionalidad. También se deben de construir pozos al inicio de cualquier tramo, el cual deben de tener una profundidad mínima de 1,30m medido desde el nivel del fondo.
- La distancia mínima entre las conexiones domiciliars de la red de distribución de agua potable y la red terciaria de aguas residuales, al menos 1,50 m en planta.
- Los tubos en redes terciarias se ubicarán en el centro de las calles y avenidas a una profundidad mínima de 1,20 m desde la rasante de la calle hasta la corona del tubo. Cuando la topografía no permita cumplir con la profundidad establecida, se debe de colar una losa de concreto reforzado. La profundidad a la que se coloquen los tubos también deben de cumplir con las longitudes de separación mínima en donde el sistema no cause interferencia con otros sistemas.

Tabla VIII. **Profundidad de colocación de la tubería (casos especiales)**

Tipo de tubería	Profundidad mínima sobre la corona del tubo* (m)	Profundidad máxima sobre la corona del tubo (m)
Polietileno Alta Densidad, corrugada	0,80	12
Plástica perfilada con refuerzo	0,80	10
Plástica perfilada con alma de acero	0,80	12
Hierro dúctil o de Acero	0,20	15
Concreto sin refuerzo (empaquetado de hule)	0,40	15
Concreto con refuerzo (empaquetado de hule)	0,20	15

(*) Se acepta esta profundidad siempre que no se alteren las condiciones de operación de la infraestructura existente en el sitio de colocación de la tubería.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (A y A). *Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial*. p 40.

- En las redes terciarias, se deben de construir pozos de registro de concreto reforzado en el inicio o en la intersección de las tuberías, así también en cambios de dirección horizontal o vertical, diámetro, pendiente y material de la tubería, de tal forma que la distancia de los pozos no sea superior a 120 m, para el caso de zonas no transitables la distancia no debe exceder los 40 m. Para las redes primarias y secundarias, la distancia permitida entre pozos no debe superar los 120 m.

- El diámetro de los pozos de registro se determina por la profundidad de la tubería y el número de caídas que exista en el pozo. Los pozos pueden tener varias entradas, pero únicamente una sola salida de caudal.
- Para los pozos con una profundidad superior a los 5,00 m o con un diámetro interno superior a 2,00 m se deberá de presentar un análisis geotécnico y estructural que determine las características y dimensiones del peso. Para casos con excepción en donde la profundidad supere los 15,00 m o el diámetro interno será superior a 2,00 m, las dimensiones y las características estructurales serán definidas por el diseñador.

Tabla IX. **Dimensiones de los pozos de concreto**

Diámetro interno del pozo (m)	Profundidad del pozo (m)	Espesor de pared del pozo (m)	Resistencia del concreto (kg/cm²)
1,20	Hasta 5,00	0,12	210
1,60	Más de 5,00 hasta 8,00	0,12	280
1,80	Más de 8,00 hasta 10,00	0,20	280
2,00	Más de 10,00 hasta 15,00	0,20	280

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados -A y A-. *Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial.* p 44.

Tabla X. **Diámetro interno por tipo de pozo según tubería de salida**

Tubería de salida (Ø nominal mm)	Diámetro interno del pozo (m)			
	Pozo sin caída	Pozo con una caída	Pozo con dos caídas	Pozo con tres caídas
150	1,20	1,40	1,60	1,80
200	1,20	1,40	1,60	1,80
250	1,40	1,60	1,80	2,00
300	1,40	1,60	1,80	2,00
350	1,40	1,60	1,80	2,00
400	1,60	1,80	2,00	2,20

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (A y A). *Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial*. p 44.

- El canal de fondo de los pozos de registro debe de tener una longitud mínima de 0,90 m en la dirección correspondiente, en el sentido del flujo y del mismo diámetro que la tubería de salida del pozo. El centro del canal debe de coincidir con el centro del pozo de registro. El diámetro del canal interno del pozo debe de ser del mismo diámetro que la tubería de salida y la profundidad del canal interno debe de ser al menos del 75 % del diámetro de la tubería de salida.

2.3.1.7. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario, México

- Se requerirá un juego de planos, en donde se incluirá lo siguiente:
 - Plano topográfico a escala 1:1 000 o 1:2 000, esto depende del tamaño de la localidad, incluyendo información de la nivelación

directa. El plano contendrá curvas de nivel a 1 m y elevaciones del terreno.

- Plano de pavimentos y banquetas donde se anotará el tipo, estado y conservación, con ayuda de un estudio de mecánica de suelos se identificará en el caso de existiese el nivel freático al nivel de la tubería.
- Plano actualizado de la red para el caso en donde se vaya a desarrollar la ampliación o restauración de una red ya existente. Se deberá de indicar la longitud de los tramos de tubería, diámetros, material, estado de conservación, elevaciones, salida de las tuberías a los pozos de visita e identificar las obras accesorias de la red.
- Plano de agua potable con la información de las áreas con dicho servicio y las futuras ampliaciones con sus respectivos programas de construcción. También se deberá de influir la densidad de población y dotación para cada etapa considerable del proyecto.
- Planos de uso actual del suelo en donde se ubicará la zona habitacional con la densidad de población, zonas comerciales, industriales, públicas y áreas verdes.
- Plano predial donde se especificará el número de lotes, forma y vialidad hacia donde descargarán las aguas residuales.
- Plano de uso futuro del suelo en donde se ubicará las zonas de crecimiento junto con su estimado de crecimiento, se indicará el tipo de desarrollo que será, bien sea comercial, industrial, zona pública o áreas verdes.
- Planos de infraestructura adicional existente en donde se considerarán los planos de la infraestructura pluvial, sanitario, agua tratada, de comunicaciones, entre otros.

- El diseño deberá de analizarse que las tuberías sigan la pendiente del terreno. Para el caso de localidades sin drenaje natural, se emplearán las pendientes mínimas de diseño, las cuales deberán de cumplir con las condiciones de tirante mínimo y máximo, también las velocidades mínimas y máximas del flujo.
- Los gastos de diseño o caudal de diseño que se harán uso en los proyectos es el gasto medio, gasto mínimo, gasto máximo instantáneo y gasto máximo extraordinario. Los últimos tres gastos se determinan a partir del primero.
- El gasto medio es el caudal promedio del año de aguas residuales. Para zonas habitacionales, la aportación de aguas residuales es del 75 % de la dotación de agua potable, este se calcula con la aportación de litros por habitante al día multiplicado por el número de habitantes. Para las localidades que cuentan con zonas industriales, comerciales o públicas, el porcentaje se obtiene de la aportación de cada zona independiente a las habitacionales, este se calcula con la aportación de litros por metro cuadrado al día o litros por hectárea al día multiplicado por el área de la zona industrial, comercial o pública.
- El gasto mínimo es el menor de los valores de escurrimiento que se presentan en la tubería y se representa a la mitad del gasto medio.
- El gasto máximo instantáneo es el valor máximo de escurrimiento, se calcula multiplicando el gasto medio de las aguas residuales por un coeficiente, para zonas habitacionales es el coeficiente de Harmon.
- Gasto máximo extraordinario es el que considera aportaciones que no forman parte de las descargas normales, como agua pluvial o las provocadas por el crecimiento demográfico no considerado. Para el cálculo de este caudal es la multiplicación del gasto máximo instantáneo y el coeficiente de seguridad adaptado. Este coeficiente para aportaciones normales será de 1,00. Para condiciones diferentes puede definirse mayor

a 1,00 y máximo 1,50 con la aceptación de la autoridad local del agua y además depende de las condiciones en particular de la localidad.

- La velocidad mínima es de 0,30 m/s para un gasto mínimo de 1 L/s, donde se considerará el gasto mínimo y para el comportamiento de la tubería llena mediante el gasto máximo extraordinario es de 0,60 m/s. También se deberá de asegurar el tirante bajo dichas condiciones, el cual tenga un valor de 1,00 cm con pendientes fuertes y de 1,50 cm para casos normales.
- La velocidad máxima para los tipos de material se especifica a continuación:

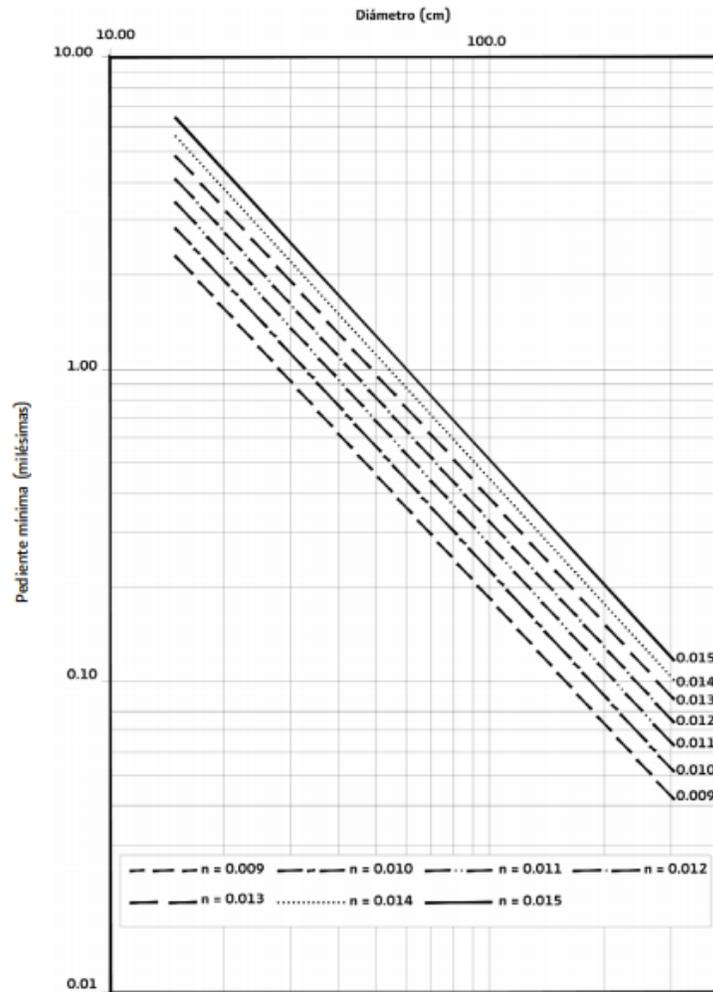
Tabla XI. **Velocidades máximas y mínimas permisibles**

Material	Velocidad (m/s)	
	Máxima	Mínima
Acero (sin revestimiento, revestido y galvanizado)	3,00	0,30
Concreto reforzado	5,00	
Concreto simple		
Fibro cemento		
Polietileno alta densidad (PEAD)		
Poli (cloruro de vinilo) (PVC)		
Poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)	3,00	

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario.* p 68.

- El diámetro mínimo de las tuberías deberá de ser 20 cm o bien 8 in y para casos especiales en los cuales se deberá de justificar, se podrá hacer uso de un diámetro mínimo de 15 cm o 6 in.
- La profundidad mínima de las zanjas debe de ser aquella donde se eviten rupturas de las tuberías por las cargas vivas, en donde se permita la adecuada conexión de las descargas del sistema a la red de alcantarillado con una pendiente mínima del 1 % y el registro interior más próximo con una profundidad mínima de 60 cm.
- La profundidad máxima depende de la topografía del lugar. Esta profundidad será la que no brinde mayores dificultades constructivas en el proceso de la excavación, de acuerdo en el terreno donde quedará enterrada la tubería, variando las características particulares como la resistencia a la compresión o la rigidez, en base a un análisis se considerará el material de relleno, grado de compactación, cargas vivas y el factor de carga. En base a la experiencia la profundidad será de 3,00 y 4,00 m. Si la topografía tiene pendientes pronunciadas, se tendrá que realizar un estudio económico comparativo entre el costo de excavación y el número de pozos de visita.
- La tubería debe de seguir la pendiente del terreno porque así se minimizan las excavaciones, pero siempre se tomará en cuenta las velocidades y tirantes mínimos. Cuando no se pueda seguir la pendiente del terreno, se deberá de hacer escalonamiento en el perfil de la línea de drenaje, se hará uso de tuberías que no se vean afectadas por el sulfuro de hidrogeno que se produce en las caídas libres. Para los casos donde la pendiente del terreno sea fuerte, se tendrá que considerar el diseño de tuberías que permitan velocidades altas y se deberá de hacer un estudio técnico económico de forma que se puedan tener estos casos en tramos cortos con velocidades que no excedan los 8 m/s.

Figura 3. Pendientes mínimas recomendadas



Pendientes mínimas para una velocidad de 0,60 m/s a tubo lleno.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario*. p 69.

- En pozos de visita, como máximo pueden descargar tres tuberías con una única tubería de salida. El pozo de visita se construye dependiendo de la tubería de salida, diámetro, del tipo y diámetro.

- La separación máxima de los pozos de visita debe de ser la que facilite el proceso de limpieza y de inspección. Se recomienda que, para tuberías de 20 cm hasta 61 cm, de diámetro, 125 m de separación; tuberías de diámetro mayores a 61 cm hasta 122 cm se recomiendan 150 m de separación y en tramos donde exista tubería mayor de 122 cm hasta 305 cm de diámetro la separación sería de 175 m. Dichas separaciones pueden incrementarse de acuerdo con las distancias de las calles, hasta el 10 %.

Tabla XII. **Separación entre pozos de visita**

Diámetro (m)	Separación (m)
0,20 – 0,76	125 – 135
0,90 – 1,22	175 – 190
Mayores de 1,22	250 - 275

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario*. p 71.

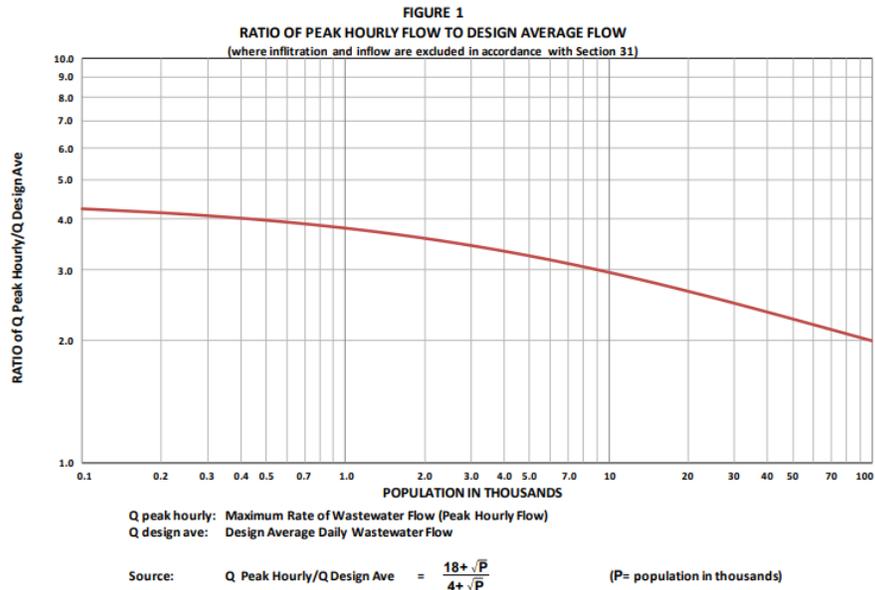
- En caso de los cambios de dirección, para las tuberías de 61 cm o menor, el cambio es hasta 90 grados y se hacen con un solo pozo común; para diámetros mayores a 61 cm hasta 122 cm, los cambios de dirección son hasta 45 grados y se deben de hacer con un pozo especial y para diámetros mayores a 122 cm hasta 305 cm los cambios de dirección son hasta 45 grados y se deben de hacer en un pozo de deflexión. Si se necesitan deflexiones mayores a las permitidas, se dispondrá el número de pozos que sea necesario, siempre y cuando se respete el grado de deflexión para cada tipo de pozo.

2.3.1.8. Recommended Standards for Wastewater Facilities, USA

- Es necesario estudios preliminares antes de la preparación. Deberá de incluir descripción de la problemática en consideración del proyecto de aguas residuales. También se deberá identificar los representantes gubernamentales y consultores autorizados que proporcionen información sobre el proyecto y finalmente, identificación de las posibles causas de descarga de aguas residuales tratadas.
- Se deberá de incluir la ubicación, tamaño y la dirección del flujo de aguas residuales.
- Se presentarán planos que detallen ubicación de las calles y del sistema de alcantarillado, línea de superficie del suelo, tipo de tubería, longitud entre los pozos de registro, ubicación de características especiales como sifones invertidos, alcantarillas elevadas, entre otros.
- La población actual y la prevista se basará para un período de diseño de 20 años.
- El área tributaria será estimada a la población, excepto cuando se consideren sistemas que puedan ampliarse en capacidad con facilidad. De igual manera, se deberá de tomar en cuenta la capacidad máxima prevista de instituciones, parques industriales, entre otros.
- El diámetro mínimo de la tubería para el sistema de alcantarillado será de 8 in o 200 mm.
- Las tuberías deberán de estar lo suficientemente profundas para recolectar aguas residuales de sótanos y evitar la congelación.
- El sistema de alcantarillado se diseñará para proporcionar velocidades no menores de 0,60 m/s según la fórmula de Manning, con un valor del coeficiente de rugosidad de 0,013.

- Cuando la velocidad es superior a 3,00 m/s, se tomará disposiciones especiales necesarias para la protección contra el deslizamiento causado por la erosión o el impacto de las aguas residuales.
- El caudal que se hará uso como base para el año de diseño de sistemas de alcantarillado será el diseño de flujo medio, máximo diario, máximo por hora e instantáneo máximo. El diseño de flujo promedio de diseño es el promedio del diario caudal durante 12 meses continuos. El diseño de flujo máximo diario es el flujo diario máximo de diseño a recibir durante un periodo de 24 horas. El diseño de flujo máximo por hora es el flujo horario pico recibido durante una hora. El diseño de flujo instantáneo máximo es el caudal máximo instantáneo para recibir.

Figura 4. **Gráfico de la relación entre el flujo máximo por hora y el flujo promedio de diseño**



Fuente: Great Lakes- Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers. *Recommended Standards for Wastewater Facilities*. p. 10-6.

- La pendiente mínima que se recomienda será para tubería de 42 in (1 050 mm) o menos. No obstante, pendientes mayores pueden ser deseables para controlar los gases dentro de la tubería o mantener la velocidad de autolimpieza. En tuberías mayores a 48 in (1 200 mm) se deberá de diseñar para velocidades medias de 0,90 m/s según la fórmula de Manning con un coeficiente de rugosidad de 0,013.

Tabla XIII. **Pendiente mínima recomendada**

Diámetro nominal		Pendiente mínima en pies Por 100 pies (m/100m)
in	mm	
8	200	0,40
10	250	0,28
12	300	0,22
15	375	0,15
18	450	0,12
21	525	0,10
24	600	0,08
27	675	0,067
30	750	0,058
33	825	0,052
36	900	0,046
49	975	0,041
42	1 050	0,037

Fuente: Great Lakes- Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers. *Recommended Standards for Wastewater Facilities*. p. 30-2.

- El diámetro de la tubería y la pendiente será para conseguir velocidades prácticas para minimicen los problemas por asentamiento.
- El material utilizado para redes de alcantarillado se debe de adaptar a condiciones locales como el tipo de desechos industriales, posibilidad de septicidad, características del suelo, abrasión, corrosión o problemas similares.

- Se colocarán pozos de inspección en todos los cambios de pendiente, tamaño o alineación, a distancias no mayores a 120 m para tubería menores de 15 in o 375 mm y a 150 m para tubería de 18 in a 30 in. Se pueden aprobar distancias hasta 185 m en donde se proporcione equipo de limpieza moderno que sea adecuado a dicha distancia.

2.3.1.9. Redes de Alcantarillado Simplificado

- Las redes de alcantarillado sanitario tienen como fin el recolectar y transportar, para su disposición, los desagües sanitarios de una comunidad bajo las condiciones técnicas y sanitarias adecuadas, a un costo accesible para la población con escasos recursos.
- Una de las principales diferencias de los alcantarillados simplificados con los alcantarillados convencionales es que con el fin de no aumentar el diámetro de la tubería o su pendiente y permitir la libre circulación de gases, el tirante relativo (h/D) debe ser menor o igual a 0,80.
- Los sistemas de alcantarillado simplificado se deben de diseñar para condiciones de saturación de la población, si esta información no se conoce, se proyecta la población asumiendo que alcanzara la densidad de saturación, en un periodo no mayor a veinte años.
- El diámetro mínimo para redes de alcantarillado simplificado será de 4 in, solo para colectores de derivación de unas cuantas cuadras y de 6 in para la mayoría de los colectores.
- El valor adaptado es $h/D=0,80$. Esta relación de tirante equivale a una relación de caudales q/Q menor o igual a 0,85. El tirante mínimo se considera como $h/D=0,20$. Si no se cumple con la relación de q/Q , se debe de aumentar el diámetro de la tubería.
- La velocidad mínima real para alcantarillados simplificados será de 0,45 m/s y la velocidad máxima real será de 4,50 m/s.

- Las pendientes mínimas serán las correspondientes a la velocidad mínima real y la pendiente máxima ser la correspondiente a la velocidad máxima real.
- La profundidad mínima de recubrimiento (diferencia de cotas entre el nivel del terreno y la generatriz superior externa de la tubería) será para los lotes de 0,20 m, zonas verdes y peatonales de 0,40 m y zonas con tráfico vehicular de 0,85 m.
- Se requerirán planos topográficos con escalas adecuadas de acuerdo con la magnitud del proyecto, con curvas de nivel, espaciamiento de acuerdo con la escala del plano y a la topografía. En estos planos el proyectista deberá de indicar la concepción básica del alcantarillado, indicando las áreas tributarias, sentido del flujo, cajas de visita, estaciones de bombeo, entre otros.
- La principal ventaja de los alcantarillados simplificados es la reducción de costos del sistema. Este ahorro se debe a la reducción de la profundidad del alcantarillado, menor diámetro de tubería, obras accesorias de menor costo y de menor número de camas o registros de inspección. Esto logra reducir el costo del sistema del 30 % al 40 %.

2.3.1.10. Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de Empresas Públicas de Medellín, Colombia

- Todo proyecto de un sistema de alcantarillado debe estar justificado desde el punto de vista socioeconómico con la identificación de un problema de bienestar social, salud pública o impacto al medio ambiente, el cual debe de tener solución con la ejecución del diseño propuesto. La evaluación socioeconómica del proyecto debe de realizarse con el fin de establecer su aporte neto al bienestar de la comunidad.

- Para llevar a cabo el diseño de un sistema de alcantarillado o parte de éste, ya sea un sistema nuevo o una ampliación, se deben de conocer las condiciones físicas, económicas y sociales de la localidad o municipio en la cual se va a llevar a cabo el proyecto.
- Para el diseño de un sistema de alcantarillado se debe de definir el tipo y tamaño de este. Para definir el tamaño del sistema se deben de tomar en cuenta lo siguiente:
 - El nivel de complejidad, de acuerdo con la RAS, teniendo en cuenta el número de habitantes y el grado de exigencia técnica que deben tener los proyectos de agua potable y saneamiento básico en el municipio.
 - Para establecer el nivel de complejidad del sistema se debe hacer una proyección de la población en la zona urbana del municipio, un estudio para establecer la capacidad socioeconómica de los habitantes y establecer de antemano la dificultad técnica del proyecto.
 - La clasificación del proyecto de alcantarillado depende del número de habitantes en la zona urbana del municipio, de su capacidad socioeconómica o del nivel de dificultad técnica del proyecto.

Tabla XIV. **Asignación del Nivel de Complejidad (Tomado del RAS 2 000)**

Nivel de Complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	< 2 500	Baja
Medio	2 501 a 12 500	Baja
Medio Alto	12 501 a 60 000	Media
Alto	> 60 000	Alta

Fuente: Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p 44.

- Los planos arquitectónicos, hidráulicos, estructurales y mecánicos que sean necesarios para la ejecución de la obra de recolección de aguas residuales y/o lluvias deben de ir acompañados por memorias de cálculo que describan los procedimientos con los cuales se realizaron los diseños.
- El diseñador debe de conocer el estudio de la demanda del servicio de alcantarillado, con base en la demanda de agua potable.
- Para el diseño, se deben de tomar en cuenta las características físicas de la zona, como la climatología, condiciones geológicas, el estudio de suelos y los estudios topográficos.
- Se debe de definir la zona sobre la cual se debe proyectar el nuevo sistema o la expansión del sistema de alcantarillado existente. Además, se deben definir las áreas o cuencas sanitarias, que harán aportes al caudal del sistema, identificando las quebradas, caños y coberturas que allí se encuentran.
- El profesional encargado del diseño debe de establecer el periodo de planeamiento del sistema y el año inicial de entrada en operación. En el caso de las redes de alcantarillado de aguas residuales en las que o se

cuenta con densidades de saturación establecidas por los planes de ordenamiento territorial y las correspondientes proyecciones de demanda de agua potable. El periodo de diseño debe ser de 30 años, previamente con la aprobación de las Empresas Públicas de Medellín.

- Para llevar a cabo el diseño de una red de alcantarillado de aguas residuales, el diseñador debe calcular los contribuyentes del caudal. Para esto se debe de conocer ya sea los clientes o la población tanto actuales como futuros, proyectados al período de diseño. El cálculo de proyección futura se puede realizar utilizando métodos matemáticos (aritméticos, geométricos, etc.), métodos heurísticos de Ensayo y error y el método de aproximaciones sucesivas. Para el cálculo de población que contribuirá se debe de considerar el plan de ordenamiento territorial, comportamiento histórico, plan de desarrollo municipal, viviendas, comercio, entre otros.
- El diseñador indicará el tipo de pruebas necesarias para llevar un control de la operación hidráulica y la calidad de agua del sistema. Se deben de establecer los puntos de medición de caudal, medición de niveles de agua, tipo y nivel de precisión de los aparatos necesarios para la toma de datos, frecuencia de toma de datos y periodos bajos los cuales se deben hacer las medidas de campo.
- Las redes de alcantarillado no pueden colocarse en zonas verdes. En caso contrario, se debe respetar una franja de al menos 1,50 m al eje de la tubería, en la cual no se podrá hacer ningún tipo de arborización.
 - La distancia horizontal mínima entre las tuberías del sistema de aguas residuales y tuberías del sistema de abastecimiento de agua potable son las mostradas en la siguiente tabla:

Tabla XV. **Distancias horizontales mínimas entre redes**

Tipo de redes	Distancia (m)
Aguas residuales y agua potable	1,50
Aguas lluvias y agua potable	1,00
Aguas lluvias, residuales y combinadas con otras redes	1,50

Fuente: Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p 65.

- La distancia vertical mínima libre entre las tuberías de alcantarillado de aguas lluvias y aguas residuales con respecto a las tuberías de otras redes de servicio público, debe de ser como mínimo 0,30 m.
- El caudal de aguas residuales aportadas a una red de alcantarillado está conformado por las aguas residuales domésticas, industriales, comerciales e institucionales. Adicionalmente se deben de tomar en cuenta los caudales por infiltración y por conexiones erradas o ilícitas.
- El diámetro nominal permitido es de 200 mm o bien 8 in para las redes de alcantarillado de aguas residuales. El diámetro nominal mínimo para redes de alcantarillado de agua pluvial es de 250 mm o bien 10 in.
- La velocidad mínima real permitida para una tubería de alcantarillado de aguas residuales es de 0,45 m/s para las condiciones encontradas al final del periodo de diseño y para redes de alcantarillado de agua pluvial es de 0,75 m/s. Se recomienda que la velocidad media máxima sea de 5,00 m/s, salvo en caso de tuberías plásticas en que dicha velocidad recomendada es de 10,00 m/s. En todo caso, cuando la velocidad del flujo en la tubería sea mayor a 4,00 m/s se recomienda hacer un análisis hidráulico de desgaste por erosión.

- El valor de la pendiente mínima de cada tubería debe corresponder con aquel que permita tener condiciones de autolimpieza y de control de gases adecuadas. Para establecer el criterio de autolimpieza, el diseño debe utilizar un valor de esfuerzo cortante en la pared de la tubería mayor o igual que $1,50 \text{ N/m}^2$.
- La distancia entre las estructuras de conexión y/o inspección están dadas por la necesidad de conectar tuberías o efectuar cambios de dirección, diámetro, material o pendiente. La separación entre estas estructuras no deberá de exceder 120 m en casos donde no cuente con sumideros y de 80 m en donde la tubería de encuentre asociado a sumideros en el tramo correspondiente.
- Para las redes de alcantarillado de agua pluvial se debe de tomar en cuenta el periodo de retorno de diseño. Esto se obtiene en función de la ocurrencia de eventos de precipitación, incluyendo sus intensidades, las características de protección y la importancia de la zona del municipio y debe presentar un balance adecuado entre los costos de construcción y operación del sistema y los costos esperados por daños, perjuicios o molestias causadas por posibles inundaciones que afecten a los habitantes, tráfico vehicular, comercio, industria, entre otros.
- Desde el diseño de las redes de alcantarillado debe de quedar establecido el mantenimiento preventivo y correctivo de las tuberías, cámaras de unión, cámaras de inspección, cámaras de caída y otros elementos que conformen la red de alcantarillado.
- El diseño debe establecer la profundidad hidráulica máxima en cada tubería, con esto para permitir una adecuada aireación de las aguas residuales. Estos valores son utilizados para redes de alcantarillado de aguas residuales y agua pluvial.

Tabla XVI. **Valores de profundidad hidráulica máxima según el diámetro interno de la tubería**

Diámetro interno real (mm)	Profundidad hidráulica máxima (%)
Menor que 500	70
Entre 500 – 1 000	80
Mayor que 1 000	85

Fuente: Empresas Públicas de Medellín. *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p 95.

- Para determinar la capacidad de la estación elevadora o de bombeo, se debe de tener en cuenta el caudal medio diario, caudal máximo horario y los caudales máximos y mínimos en las condiciones iniciales y finales de operación de la estación, a lo largo del periodo de diseño.
- El material de las bombas y de los distintos componentes deben de resistir la corrosión que el agua puede causar en ellos. Los materiales aceptados por las Empresas Públicas de Medellín es el hierro fundido, acero inoxidable, acero al carbón, acero fundido y hierro dúctil.

2.3.1.11. Norma OS. 070 Redes aguas residuales, Perú

- Para todos los tramos de la red de alcantarillado, se debe de calcular caudal inicial y final. Se debe de considerar un caudal mínimo de 1,50 L/s.
- El diámetro nominal de las tuberías no deberán ser menores a 100 mm.
- Cada tramo de la red de alcantarillado se debe de verificar por el criterio de Tensión Tractiva Media, el cual será un valor mínimo de 1,00 Pa en el

caudal inicial con un valor de Manning de 0,013 y la pendiente que satisface dicha condición es $0,0055Q_i^{-0,47}$.

- La pendiente máxima es la correspondiente a una velocidad de 5,00 m/s. En condiciones especiales, estas serán sustentadas por el ingeniero a cargo del diseño.
- Si la velocidad final es mayor a la velocidad crítica, la altura de la lámina de agua que se admite será el 50 % del diámetro de la tubería.
- La lámina de agua se calcula con un flujo uniforme y permanente, siendo el valor máximo el caudal final, igual o inferior al 75 % del diámetro de la tubería.
- Las cámaras de inspección o pozos de visita podrán ser buzonetas o buzones. En el caso de las buzonetas, estas se harán uso para vías peatonales con una profundidad menor de 1,00 m sobre la clave del tubo y se planificarán con diámetros hasta 200 mm. Por otro lado, los buzones ser usarán para profundidades mayores a 1,00 m.
- La distancia máxima entre los pozos de visita y limpieza se delimitan por el diámetro de los tubos.

Tabla XVII. **Distancia máxima entre pozos de visita**

Diámetro nominal de la tubería (mm)	Distancia máxima (m)
100	60
150	60
200	80
250 a 300	100
Diámetros mayores	150

Fuente: RNE. Normas OS. 070 *Redes aguas residuales*. p 6.

- Con calles y avenidas de 20 m de ancho o menos, será necesario un colector en el eje de la vía vehicular. Para calles con más de 20 m de ancho, se empleará un colector a cada lado de la calzada.
- El recubrimiento de las tuberías no deberá de ser menor a 1,00 m en vías vehiculares y de 0,60 m en vías peatonales. Para recubrimientos menores, estos deben de ser justificados.
- Si se llegará a tener interferencias con otros servicios públicos, se tendrá que regular con la entidad con el objeto de diseñar con ellas la protección que se necesite. La solución debe de contar con la aprobación de dicha entidad.
- En donde exista un cruce de colectores con tuberías de agua potable, se debe de considerar en el diseño el cruce por encima de los colectores con 0,25 m de distancia mínima la cual esta medida entre los planos horizontales tangentes. Se debe de evitar la cercanía de las uniones de las tuberías con el agua potable para que se minimice el riesgo de contaminación. Si no se puede evitar el cruce, será importante realizar el diseño de una protección de concreto en el colector, con 3 m a cada lado del punto de cruce.

2.3.1.12. Norma OS. 100 Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria, Perú

- El periodo de diseño será determinado por el proyectista, siempre tomando el procedimiento el cual garantice los períodos óptimos para cada sistema.
- La población a futuro para el diseño del sistema deberá de considerar de 6 Hab/vivienda en el caso de nuevas habilitaciones, por otro lado, si se trata de asentamientos existentes el crecimiento poblacional deberá realizarse conforme al plan reguladores y programas de desarrollo regional si existiese; si no existen esta documentación, se tendrá que tomar en

cuenta las características de la localidad, factores históricos, socioeconómicos, tendencia de desarrollo, entre otros.

- Para el caso donde se proyecte la disposición de excretas por digestión seca, se tomará en cuenta una contribución de 0,20 kg/Hab/día.
- El caudal de contribución e alcantarillado será el 80 % del caudal de agua potable consumida cuando esta ingresa a la red de alcantarillado. También se tendrá que considerar las aguas por infiltración, donde se asume un caudal debidamente justificado referente a la permeabilidad del suelo y al tipo de tubería que se haga uso.
- Se tendrá la obligación de realizar inspección y limpieza cada año a las tuberías y pozos de visita, con el objeto de evitar obstrucciones por acumulación de materia. Para época lluviosa, se intensificará el período por la acumulación de arena o tierra. Además, se realizarán informes periódicamente y cuadro de actividades del mantenimiento que se realice, con esto se obtiene el estado y las condiciones que se encuentra el sistema.
- En base a la norma OS 060 (drenaje pluvial) se deberán de realizar estudios de hidráulica e hidrología, estudios de suelos para conocer las características del terreno a lo largo del eje de los ductos del drenaje. Se incluirán planos topográficos, incluyendo plano general de la zona a escala variable de 1:500 a 1:1 000 con curvas de nivel a 1 m o 0,50 m, plano del área especificada en donde se deberá de proyectar la ubicación de las estructuras, perfil longitudinal del eje de las tuberías, también se deberá de contar con la información topográfica del Instituto Geográfico Nacional para la elaboración de planos a mayor escala de zona urbano-rurales y plano de las secciones de ejes de la tubería a cada 5 m.

2.3.1.13. Norma NB 688 Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, Bolivia

- El periodo de diseño de los sistemas está en función de los componentes y las características de la población. El período puede ser mayor o menor a lo indicado, siempre y cuando este se especifique.

Tabla XVIII. **Período de diseño**

Componentes del sistema	del	Población menor a 20,000 habitantes	Población mayor a 20,000 habitantes
Interceptores emisarios	y	20 años	30 años
Plantas de tratamiento		15 a 20 años	20 a 30 años
Estaciones de bombeo		20 años	30 años
Colectores		20 años	30 años
Equipamiento			
Equipos eléctricos		5 a 10 años	5 a 10 años
Equipos de combustión interna		5 años	5 años

Fuente: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. *Norma NB688: Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial.* p 42.

- La población de habitantes para el proyecto se deberá de considerar la población inicial, la cual es el número de habitantes en el área determinada del proyecto y los índices de crecimiento demográficos. En caso de no contar con dicho índice, se puede optar por usar el índice del municipio o la capital, en dado caso el índice es negativo se considera como el 1 % del crecimiento. La población futura se estimará en base a la población inicial

y el índice de crecimiento. El área del proyecto será aquella donde se encontrará el sistema de alcantarillado.

- La contribución de aguas residuales depende del abastecimiento de agua potable con la que cuente la población. Para sistemas de alcantarillado nuevos, la dotación media diaria de agua es obtenida en base a la población y a la zona. Esto lo indica la Norma Boliviana NB 689.
- La dotación media diaria puede aumentar por factores que afectan el consumo. La dotación futura se estimará con un incremento anual de 0,5 % y 2 % de la dotación media diaria.
- El coeficiente de retorno es una relación que existe entre el caudal medio de aguas residuales domésticas y el caudal medio que consume la población. Se deben de usar valores que varían entre el 60 % al 80 % de la dotación de agua potable. Los valores que no entren en el rango se deberán de justificar.
- El caudal de aguas residuales se integra por aguas residuales domésticas, industriales, comerciales, institucionales e infiltración lineal. La estimación de cada aportación se debe de basar en información histórica, consumo periódico y evaluaciones realizadas con regularidad.
- El caudal de diseño para cada tramo en el sistema de alcantarillado se obtiene sumando el caudal máximo horario doméstico, aportes de infiltraciones y conexiones erradas. El caudal máximo horario domestico se estima a partir del caudal medio diario mediante el uso de un coeficiente de punta M. El coeficiente se estima en base a las relaciones de Harmon y Babbit, validas par poblaciones de 1 000 a 1 000 000 habitantes.
- El diámetro mínimo para sistemas de alcantarillado sanitario convencional y no convencional es de 100 mm o 4 in. Para sistemas de alcantarillado de pequeño diámetro sin arrastre de sólidos, el diámetro mínimo es de 50 mm o 2 in.

- Para cada tramo, se debe de verificar el criterio de tensión tractiva media con un valor de 1 Pa. Para tramos iniciales no deberá de ser inferior a 0,60 Pa.
- La pendiente mínima que se admite se determina mediante las condiciones de flujo, tomando un valor para las relaciones de caudales (inicial/futuro). No podrá ser superior a la calculada según el criterio de tensión tractiva. La pendiente máxima será la que se considere para una velocidad de 5,00 m/s.
- El tirante de agua será calculado admitiendo un régimen de flujo uniforme y permanente, siendo un valor igual o inferior al 75 % del diámetro de la tubería. Si la velocidad final es mayor a la velocidad critica, el tirante admisible será el 50 % del diámetro de la tubería.
- La profundidad de recubrimiento se considerará los esfuerzos en la que estará sometida la tubería, depende de las características del suelo, cargas de relleno y vehicular, material de la tubería, cama de asiento, ubicación y trazado de terreno. El recubrimiento mínimo debe de evitar la ruptura de la tubería. Para vías peatonales o zonas verdes, la profundidad mínima será que 0,75 m y en vías vehiculares será de 1,00 m.
- La profundidad máxima será aquella donde no existan dificultades constructivas. La profundidad máxima admisible es de 5,00 m, aunque puede aumentar siempre que se garanticen los requerimientos geotécnicos de las cimentaciones y estructurales de los materiales.
- Los colectores se deben de ubicar siguiendo el lineamiento de las calles, pero si la topografía o el costo de construcción lo permite, se pueden ubicar por las aceras dentro de los manzanos de casas, esto es válido para alcantarillado condominiales.
- La distancia máxima entre los elementos de inspección está determinada por la trama urbana, equipos de limpieza y el comportamiento del flujo. Para la trama urbana la distancia máxima de 50 m hasta 70 m si la limpieza

es manual, si es mecánica o hidráulica la distancia será de 150 m. Para emisarios o colectores receptores en donde las entradas están restringidas o son inexistentes, la distancia debe de incrementarse en base al tipo de mantenimiento, la cual es de 200 m.

- El diámetro interno mínimo de las cámaras de inspección será de 1,20 m. el diámetro mínimo de la boca de ingreso deberá de ser de 0,60 m.
- El diámetro de las cámaras con caída será mayor a 300 mm o bien 12 in, se debe de realizar una conexión directa a 45 grados en el fondo de la cámara. Para desniveles superiores a 0,75 m, se deberán de instalar tuberías con caída al colector con el fondo de la cámara mediante un ángulo de 90 grados.
- La selección del material de las tuberías será enfocada en las características de las aguas residuales, cargas externas actuantes, condiciones del suelo, condiciones del nivel freático, condiciones de abrasión, corrosión y la generación de sulfatos.
- Todos los planos deben de ser firmados y rotulados por profesionales. Los planos deben incluir información básica necesaria como la siguiente:
 - Referenciación planimétrica y altimétrica por el IGM o en su defecto por sistemas de posicionamiento geodésico o satelital.
 - Parámetros de calidad para la construcción.
 - Características y propiedades mínimas de los materiales a usar.
 - Detalles de conexiones, empalmes, juntas y demás casos que necesitan ser especificados.
 - Identificaciones de las redes existentes de agua, alcantarillado, gas, fibra óptica, energía y teléfonos.
 - Suposiciones básicas usadas en el diseño y que puedan afectar a futuro la construcción, como cargas supuestas en los análisis, tipo de supuesto en el diseño, presiones mínimas y máximas, precauciones especiales o instalación de elementos.

- Instrucciones y explicaciones que se requieran para poder realizar la construcción e instalación de maquinaria y equipo acorde al diseño previsto.
- Se deberá de incluir memorias detalladas del diseño y calculo que describa cada procedimiento por medio el cual se realizó el diseño del sistema de alcantarillado. Las memorias que contengan errores deben de ser corregidas en el original y las copias con la información incorrecta deberá de ser destruida para evitar confusiones en la construcción del proyecto.
- Tanto los planos como las memorias de cálculo deben de incluir el tamaño de la población del sistema utilizado en los diseños, procedimientos detallados y demás actividades del proyecto.

2.3.2. Comparación entre guías

A continuación, se desarrolla la comparación de las normas y guías analizadas con anterioridad, a nivel regional, norteamericano y suramericano.

Tabla XIX. **Comparación entre las guías y normas**

Nivel regional	Nivel norteamericano	Nivel suramericano
<p>Las normas analizadas a nivel regional indican que se deben de realizar investigaciones preliminares cuando se realice un proyecto de sistema de alcantarillado, esto a cargo de un profesional capacitado en el área. Entre las investigaciones preliminares se encuentra la ubicación geográfica, topografía, estudios hidráulicos, estudios hidrológicos, estudios geológicos, población, sistema de abastecimiento de agua potable empleado por la población, entre otros. Además, todo proyecto debe de contar con una memoria de cálculo en donde se indiquen los parámetros de diseño del sistema y los cálculos hidráulicos respectivos.</p>	<p>Las normativas a nivel norteamericano indican que se deberán de realizar estudios preliminares donde incluya información acerca de la población que se beneficiará del proyecto de saneamiento. Además, se deberá de incluir planos que detallen las calles y la red de alcantarillado, tipo de tubería, pozos de registro, tipo de suelo, planos de la infraestructura adicional que influya en aporte información acerca del proyecto.</p>	<p>Las normativas en cada país indican que se deben de realizar planos topográficos, arquitectónicos, y todos aquellos que sean necesarios para la ejecución de la red de alcantarillado. También se deberá de incluir una memoria de cálculo en donde se describa el procedimiento por medio el cual se realizó el diseño del sistema de alcantarillado, en donde también se incluyan todos los parámetros de diseño empleados; se deberá de incluir el tamaño de la población.</p>

Continuación tabla XIX.

Nivel regional	Nivel norteamericano	Nivel suramericano
<p>Se estimará una población futura que tributará al caudal de diseño, prediciendo para un número determinado de años, el cual se fija con el período de diseño del sistema. El área tributaria es toda el área que se ve influenciada por la población.</p>	<p>Se proyectará la población futura en base a la población actual, basándose en el periodo de diseño de la red de alcantarillado. El área tributaria será aquella donde las aguas residuales tributen al sistema de alcantarillado, es decir, el área donde las aguas residuales usadas por la población conecten al colector principal de la red de alcantarillado.</p>	<p>La población de diseño será considerada la población futura proyectada al período de diseño. La población proyectada se hace en base a la población inicial y la tasa de crecimiento. La Norma OS. 100 de Perú estipula que para la población a futuro se debe de considerar 6 habitantes por vivienda para nuevas habilitaciones de vivienda, en caso contrario se realizará en base a planes reguladores y programas de desarrollos existentes.</p>
<p>Las guías coinciden en su mayoría que el período de diseño es de 20 años, desde que da inicio el proyecto. La Guía de normas para el diseño de abastecimientos de agua potable y disposición de excretas y aguas residuales en zonas rurales de Guatemala del INFOM indica que el período de diseño puede ser de 30 a 40 años.</p>	<p>Se estimará la población prevista para un periodo de diseño de 20 años.</p>	<p>El período de diseño es proyectado por el ingeniero a cargo del diseño de la red, considerando el período de vida útil de los materiales y de las características propias de la población. En la norma de EPM en Colombia indica que el período de diseño debe de ser de 30 años; en Perú es determinado por el proyectista basándose en su criterio y en Bolivia el período de diseño se adapta a los componentes del sistema y la población.</p>

Continuación tabla XIX.

Nivel regional	Nivel norteamericano	Nivel suramericano
<p>El caudal de diseño en cada tramo será la suma de los caudales doméstico, infiltración, comercial, industrial y caudal ilegal por agua de lluvia que se conectan en patios o en bajadas de los techos.</p>	<p>En el caso de la guía analizada de México y Estados Unidos, estas indican que el gasto de diseño será en base al gasto medio, máximo diario, máximo por hora y el fasto instantáneo. El cálculo de los gastos se realizan basándose con el caudal medio.</p>	<p>El caudal que integra las aguas residuales para un sistema de alcantarillado está dado por aguas residuales domésticas, industriales, comerciales, institucionales y caudal de infiltración. Para estimar cada aporte del caudal se hace en base a información histórica, consumo periódico y evaluaciones que se realizan con regularidad. Este caudal se estima o calcula para cada tramo de tubería. En Perú se estima un caudal mínimo de 1,50 L/s.</p>
<p>En las normas analizadas, coincide que el diámetro mínimo para tubería de PVC será de 6 in o 150 mm.</p>	<p>El diámetro mínimo de las tuberías será de 8 in o 200 mm, este requerimiento mínimo coincide en las normativas analizadas a nivel norteamericano.</p>	<p>El diámetro mínimo permitido es varía para cada normativa en su respectivo país. En Colombia las Normas de Diseño de sistemas de alcantarillado EPM establece que el diámetro permitido será de 8 in para sistemas de alcantarillado sanitario; la norma OS. 070 de aguas residuales de Perú establece que el diámetro no será menos a 100 mm o 4 in, esta especificación también coincide en la norma NB 688 de Bolivia.</p>

Continuación tabla XIX.

Nivel regional	Nivel norteamericano	Nivel suramericano
<p>Las velocidades mínimas y máximas en cada norma difieren. La velocidad mínima en Guatemala, Honduras y Nicaragua coinciden siendo un valor de 0,60 m/s, en El Salvador de 0,50 m/s y en Costa Rica la velocidad mínima se establece en base a la fuerza tractiva con un valor de 0,10 kg/m².</p>	<p>En la normativa mexicana, esta indica que la velocidad mínima será de 0,30 m/s, este requerimiento no coincide con la norma estadounidense, esta estipula que la velocidad mínima que se requiere en el sistema será de 0,60 m/s por condiciones de autolimpieza. La velocidad máxima será de 3,00 m/s, en el caso de Estados Unidos, en velocidades mayores se deberá de hacer uso de protección debido a la erosión o el impacto.</p>	<p>En las normas de EPM indica que la velocidad mínima permitida para una tubería de alcantarillado de aguas residuales es de 0,45 m/s y la velocidad máxima recomendable es de 5,00 m/s. Esta velocidad máxima también corresponde a la normativa utilizada tanto en Perú como en Bolivia.</p>
<p>La norma del INFOM indica que la pendiente mínimas y máximas están en relación con que se cumpla con la velocidad de conducción de las aguas residuales, dicha condición de pendiente mínima también se cumple Nicaragua, la cual permite que dicha velocidad produzca autolavado en el sistema y en Costa Rica es la que permita una fuerza tractiva mínima de 0,10 kg/m². La pendiente mínima en El Salvador y Honduras coinciden con un valor de 0,50 % para tramos iniciales.</p>	<p>La pendiente mínima será aquella donde se tome en cuenta las velocidades y los tirantes mínimos. Para el caso de Estados Unidos, la pendiente mínima dependerá del diámetro nominal de tubería empleada en el diseño de la red de alcantarillado.</p>	<p>En las normas de EPM indica que la pendiente mínima será aquella que permita condiciones de autolimpieza y el control de gases dentro del sistema de alcantarillado. La pendiente máxima permitida en Perú y Bolivia es aquella que cumpla con una velocidad máxima de 5,00 m/s.</p>

Continuación tabla XIX:

Nivel regional	Nivel norteamericano	Nivel suramericano
<p>En Guatemala y El Salvador los pozos de visita tendrán una distancia entre ellos de 100 m. En el caso de Honduras la distancia será de 80 m para tuberías menores a 24 in, en tuberías mayores de ese diámetro la distancia será de 150 m. La separación entre pozos de visita en el territorio nicaragüense dependerá del método de diseño, para tuberías menores de 400 mm la separación será de 100 m y en tuberías de mayor diámetro será de 120 m, esto par equipo tradicional. En la normativa de Costa Rica, esta indica que la separación no deberá de exceder 120 m.</p>	<p>EPM indica que los pozos de inspección o de visita se ubicaran en cambios de pendiente, cambios de diámetro, unión de dos o más tuberías; y la distancia máxima entre los pozos será de 120 donde no se cuenten sumideros y de 80 m donde en el tramo si existan sumideros. Por otro lado, la Norma OS. 070 de Perú indica que la distancia máxima entre pozos dependerá de la tubería nominal, en tuberías mayores a 300 mm la distancia no deberá exceder 150 m.</p>	<p>La separación máxima entre los pozos de visita dependerán del diámetro nominal. Cada normativa difiere en ese requerimiento mínimo, México indica que la distancia será desde 125 m hasta 175 m y en Estados Unidos la separación estará entre 120 m hasta 185 m. De igual forma, en ambas normativas indica que los pozos de visita o inspección se colocaran en cambios de pendiente, cambio de diámetro o en la unión de dos o más tuberías. La separación será aquella que facilite el proceso de inspección y de limpieza de la red de alcantarillado.</p>

Fuente: elaboración propia.

3. PROPUESTA DE NORMA DE DISEÑO

3.1. Estudios preliminares

Las investigaciones o estudios preliminares son aquellos que recolectan el contenido que describe las características de la población, como los antecedentes históricos, características geográficas y monografía del lugar, así como toda información que contribuya al reconocimiento de la cobertura y deficiencia de la infraestructura y servicios básicos del área en cuestión.¹²

Las Normas Generales para el Diseño de Alcantarillado del Instituto de Fomento Municipal indica que los estudios o investigaciones preliminares serán realizados por profesionales y serán los encargados de la precisión de los cálculos. De los estudios realizados, se deberá de realizar un resumen el cual incluya el propósito, resultados, observaciones y recomendaciones si fueran necesarios.¹³

3.1.1. Ubicación

Se determinará la ubicación geográfica y política, además sus vías de comunicación con las distancias hacia los puntos con mayor importancia. Esto se localizará en un plano a escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y además se incluirá una fotocopia del área definida por el diseño.

¹² SAGASTUME, Ramón. *Estudio y diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la colonia Las Brisas de la Ciudad de Chiquimula*. p. XIII.

¹³ INFOM. *Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados*. p. 6-8.

3.1.2. Clima

Se obtendrá lo siguiente según los registros que existan en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), tomando los registros de la estación más cercana:

- Estaciones
- Precipitación pluvial
- Vientos
- Nubosidad
- Temperaturas máximas, medias y mínimas
- Humedad relativa
- Evaporación y transpiración

3.1.3. Características de la población

Se recolectarán los datos siguientes:

- Número de habitantes actuales según los censos poblacionales
- Número de viviendas
- Actividades principales de la población y los medios de ingreso más importantes.
- Costumbres especiales de la población
- Industrias existentes, características y volumen de aguas servidas
- Instituciones: hospitales, oficinas gubernamentales, entre otros.

3.1.4. Condiciones sanitarias

Se harán investigaciones de las condiciones sanitarias de la localidad, incluyendo lo siguiente:

- Sistema de abastecimiento de agua potable
- Disposición de excretas
- Sistema de recolección y disposición de basuras
- Tipo y condiciones de la vivienda
- Cualquier otro aspecto que esté relacionado a las condiciones sanitarias

3.1.5. Sistema de abastecimiento de agua

Se determinará lo siguiente con relación al sistema de agua potable que abastece a la población:

- Fuentes de abastecimiento
- Sistema de conducción
- Planta o tipo de tratamiento que recibe el agua
- Calles en las que existe tubería de la red de distribución
- Número de servicios instalados
- Consumo diario por habitante
- Sistema de administración del servicio
- Estado económico del sistema

3.1.6. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico de la población se deberá de tomar en cuenta el área edificada y de desarrollo futuro, donde se incluya la localización de las

calles y zonas edificadas, edificios, carreteras, todas aquellas estructuras naturales y artificiales que estén relacionados con el diseño de la red de alcantarillado. Se deberá de tomar en cuenta, tanto en levantamiento topográfico como en líneas de descarga, las quebradas, cursos de agua, elevaciones, etc.

3.1.6.1. Métodos para efectuar levantamientos

El levantamiento topográfico se podrá realizar por métodos aerofotogramétricos, haciendo uso del sistema de información geográfica (SIG) y programas o software que automaticen la recolección de información procesando datos espaciales o totalmente métodos topográficos con tránsito y nivel.

El sistema de información geográfica es un conjunto de herramientas que se basan en un soporte informático, que manejan datos geográficos y permiten resolver problemas espaciales. Dichos problemas también se pueden resolver haciendo uso de medios no automáticos, pero en ocasiones se hace imprescindible el uso de SIG ya sea por ser problemas complejos, procesos repetitivos o la necesidad de manejar gran cantidad de información.¹⁴

Si el número de habitantes estimado a un periodo de diseño de 20 años sobrepasa a 100 000 habitantes, se establecerán redes de triangulación siguiendo las especificaciones del IGN. No se aceptarán levantamientos taquimétricos, exceptuando para detalles secundarios.

¹⁴ GUTIÉRREZ, José. *Sistema de información geográfica aplicado al desarrollo de energía eólica en Guatemala*. p. 51.

3.1.6.2. Nivelación

La nivelación será con instrumentos y métodos los cuales permitan precisión de 1 cm por kilómetro. La nivelación se efectuará sobre el eje de las calles, tomando elevaciones en:

- En todos los cruces de calles
- A distancias no mayores de 20 metros
- En todos los puntos donde haya cambio de pendiente del terreno
- En punto salientes del terreno, depresiones y lechos de quebradas
- En alturas máximas y mínimas del agua en el caudal

Las marcas de nivelación se deben colocar con anterioridad, de tal forma que se asegure su conservación. Estos deben de quedar referenciados a las marcas de nivelación del IGN y a obras estables, y se deberán de distribuir de tal forma que su número sea de uno por cada tres hectárea como mínimo.

Las marcas no deben de ofrecer duda y deben de ser señales que perdurables y accesibles, pueden ser metálicas empotradas en mampostería de los edificios o incrustados en calles o aceras, colocándolas dentro de una pequeña caja de inspección o suficiente profundidad del piso.

3.1.6.3. Detalles

Los detalles se tomarán de tal forma de obtener curvas de nivel las cuales indiquen la altimetría del terreno en calles, patios, en cambios de pendiente, etc. Se tendrá mayor cuidado para tomar niveles de aquellos terrenos en donde las construcciones cuenten con una cota de piso inferior a la cota de rasante de la calle.

3.1.6.4. Libreta de campo

Los datos del levantamiento topográfico deben de quedar anotados claramente en la libreta de campo, deberán de estar libre de borrones o cualquier tipo de mancha. Es indispensable que se acompañe con un croquis que este será elaborado en el campo a medida que avanza el levantamiento.

3.2. Estudios técnicos

El Instituto de Fomento Municipal asevera que, de acuerdo con lo establecido por medio de su Ley orgánica, la inclusión de un área responsable de la Asistencia Técnica, como una de las funciones primordiales de la misma, planificación de obras y servicios públicos municipales; por lo cual ha correspondido originalmente a la División de obras municipales y actualmente a la Unidad de Estudios Técnicos.¹⁵

INFOM también asegura lo siguiente: para la satisfacción de las municipalidades, la elaboración de estudios técnicos los realiza profesionales con el conocimiento y experiencia en cada una de las especialidades, además de ofrecerles costos competitivos y facilidad de pago.¹⁶

Los servicios que INFOM ofrece a las municipalidades son los siguientes:

- Elaboración de estudios técnicos.
- Revisión de expedientes de diseño, elaborados externamente.

¹⁵ INFOM. *Estudios técnicos*. <http://www.infom.gob.gt/nuestros-servicios/estudios-tecnicos/>. Consulta: 13 de abril de 2021.

¹⁶ *Ibíd.*

- Asesoría técnica en cualquier aspecto relacionado con proyectos de infraestructura.

Según Las normas Generales para el Diseño de Alcantarillados: la memoria descriptiva y el informe técnico del proyecto deberá de incluir la siguiente información:

- Una breve descripción de los datos geográficos, políticos, económicos y sociales de la población.
- Condiciones sanitarias actuales de la localidad.
- Causas que justifiquen la necesidad de construir el proyecto y los resultados que se esperan cumplir.
- Descripción de la obra proyectada.
- Descripción de las condiciones de descarga y razones para el tratamiento seleccionado.
- descripción del sistema de tratamiento.
- Plan de trabajo propuesto, indicando el orden en la construcción, y si fuere el caso, distribución de la ejecución por etapas.¹⁷

3.3. Materiales

Conforme a “Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua potable y Alcantarillados de Aguas negras”, se usarán tuberías de PVC, cemento-arena, concreto simple, concreto reforzado o hierro fundido dúctil, de sección circular, para interceptores o emisarios, se podrá hacer uso de secciones diferentes a sección circular, ya sea rectangular, trapezoidal, ovoide, entre otras, cuando las razones técnicas o económicas lo justifiquen.¹⁸

¹⁷ INFOM. *Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados*. p. 20.

¹⁸ ANDA. *Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras*. p. 23.

El Reglamento para Diseño y Construcción de Drenajes de la Municipalidad de Guatemala comenta que “los tubos que se emplearán podrán ser lisos o corrugados exteriormente, y en sus extremos podrán ser conformados por la unión en forma de campana y espiga o bien por el sistema de macho y hembra. Los tubos deben de estar libres de fracturas, rajaduras, grietas, laminaciones o asperezas superficiales”.¹⁹

3.4. Caudales

Se detallan los distintos tipos de caudales que son utilizados para el diseño de redes de alcantarillado sanitario.

3.4.1. Caudal doméstico

Es el caudal recolectado luego de que el agua ha sido contaminada mediante su uso y posteriormente trasladada al colector principal del sistema de alcantarillado.

$$Q_d = \frac{D * FR * P}{86400}$$

Donde:

Qd	Caudal domiciliar (lt/s)
P	Población (habitantes)
D	Dotación (lt/hab/día)
FR	Factor de retorno (adimensional)
86 400	Constante equivalente a segundos por día

¹⁹ Municipalidad de Guatemala. *Reglamento para diseño y construcción de drenajes*. p. 19.

El factor de retorno es el que indica la cantidad de agua que retorna al alcantarillado sanitario proveniente de cada vivienda, es considerado entre el 75 % al 95 % de la dotación de agua potable.

Según el Reglamento para Diseño y Construcción de drenajes de la Municipalidad de Guatemala para proyectos a realizarse en la ciudad de Guatemala dentro del perímetro de influencia urbana, para la determinación del caudal doméstico se hará en función de la densidad de la población y el caudal por habitante, según el tipo de zona que se trate, de acuerdo con lo siguiente:

Tabla XX. **Determinación del caudal doméstico**

Tipo de zona	Caudal (lt/hab/día)	Densidad (hab/Ha)
Barrios pobres	115 a 153	220 a 470
Barrios residenciales de clase media	170	75 a 220
Barrios residenciales de clase alta	265	15 a 75

Fuente: Municipalidad de Guatemala. *Reglamento para Diseño y Construcción de drenajes*. p 17.

3.4.2. Caudal comercial

El caudal comercial son las aguas residuales arrojadas al alcantarillado por comercios, restaurantes, hoteles, pensiones, teatros, mercados entre otros.

3.4.3. Caudal industrial

El caudal industrial son las aguas residuales vertidas a la red de alcantarillado que provienen de industrias, como fábricas textiles, fábricas de alimentos entre otros.

En el Reglamento para Diseño y Construcción de drenajes “en zonas comerciales e industriales el caudal se asumirá en 0,40 lt/s/Ha. Refiriéndose a áreas no desarrolladas, a esta cantidad se deben de agregar las aguas cloacales de las industrias existentes, se recomienda estudios especiales para cada caso en particular”.²⁰

3.4.4. Caudal de infiltración

Según EPM (2009) “la infiltración de aguas superficiales a los sistemas de alcantarillado es inevitable debido a la existencia de fisuras en las tuberías, juntas ejecutadas de manera deficiente, en la unión de la tubería con el pozo de visita y demás estructuras, además cuando el sistema no es completamente impermeable”.²¹

Cuando el sistema de alcantarillado se hace en base a tubería de PVC, este caudal no se toma en consideración.

3.4.5. Caudal de conexiones ilícitas

Es el caudal por aguas de lluvia que se conecten en patios o bajadas de techos.

²⁰ Municipalidad de Guatemala. *Reglamento para diseño y construcción de drenajes*. p. 10.

²¹ Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p. 5-90.

Basándonos en la norma colombiana EPM: “los caudales de conexiones ilícitas están en función de la efectividad sobre las medidas de control de las conexiones domiciliarias y que se dispongan de sistemas de recolección y el transporte de aguas pluviales en los municipios”.²²

INFOM indica que se tomará el 10 % del caudal doméstico, también se puede hacer uso del método racional.

El método racional tiene como variantes el coeficiente de escorrentía superficial, la intensidad de precipitación y el área de influencia de la localización de la obra de drenaje.²³

$$Q_i = \frac{c * i * A}{360}$$

Donde:

Q _i	Caudal de conexiones ilícitas (m ³ /s)
c	Coeficiente de escorrentía (adimensional)
i	Intensidad de lluvia (mm/h)
A	Área (Ha)

Rosales (2005) explica que el coeficiente de escorrentía es el porcentaje de agua de precipitación total en consideración, debido a que no todo el volumen de agua precipitado drena por medios naturales o artificiales. Existen diferentes coeficientes para cada tipo de terreno, será mayor cuanto más impermeable es la superficie.²⁴

²² Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p. 5-89.

²³ ESTRADA, Yuri & ROJAS, Diego. *Comparación entre el método racional y el método del número de curva para la estimación de caudales, caso de estudio puente vehicular del proyecto residencial Refugio de Bassedonia I*. p. 28.

²⁴ ROSALES, Sergio. *Diseño de tramo carretero, para el acceso directo al cantón Lourdes, del municipio de Guatemala, Departamento de Guatemala*. p. 45.

Tabla XXI. **Coeficientes utilizados en Guatemala**

Tipo de superficie	C
Centro de la ciudad	0,70 – 0,95
Fuera del centro de la ciudad	0,50 – 0,70
Parques, cementerios	0,10 – 0,25
Áreas no urbanizadas	0,10 – 0,30
Asfalto	0,70 – 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Adoquín	0,70 – 0,80
Suelo arenoso	0,15 – 0,20
Suelo duro	0,25 – 0,30
Bosques	0,20 – 0,25

Fuente: ROSALES, Sergio. *Diseño de tramo carretero para el acceso al Cantón Lourdes, del municipio de Guatemala, departamento de Guatemala.* p 23.

La intensidad de lluvia es el espesor de lámina de agua por unidad de tiempo que se produce, suponiendo que el agua permanece en el sitio donde cayó. Esta medición se hace a través de registros pluviográficos elaborados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).²⁵

²⁵ ROSALES, Sergio. *Diseño de tramo carretero, para el acceso directo al cantón Lourdes, del municipio de Guatemala, Departamento de Guatemala.* p.24.

Tabla XXII. **Fórmulas para la intensidad de lluvia**

Sector	2 años	5 años	10 años	20 años
Ciudad de Guatemala (Zona atlántica)	$\frac{2838}{t + 18}$	$\frac{3706}{t + 22}$	$\frac{6889}{t + 40}$	$\frac{4604}{t + 24}$
Ciudad de Guatemala (Zona Pacífica)				$\frac{6889}{t + 40}$
Bananera, Izabal	$\frac{5771}{t + 48,80}$	$\frac{710395}{t + 53,80}$	$\frac{7961}{t + 56,63}$	$\frac{36677}{t + 58,43}$
Labor Ovalle, Quetzaltenango	$\frac{977,7}{t + 3,80}$	$\frac{11285}{t + 3,25}$	$\frac{134554}{t + 3,49}$	
La Fragua Zacapa	$\frac{37005}{t + 50}$	$\frac{39905}{t + 41,75}$	$\frac{4040}{t + 37,14}$	
Chimaltenango	$\frac{1712}{t + 8,70}$	$\frac{2201}{t + 10,17}$		

Fuente: ROSALES, Sergio. *Diseño de tramo carretero para el acceso al Cantón Lourdes, del municipio de Guatemala, departamento de Guatemala.* p 24.

3.5. Diseño

En esta sección se definirán parámetros de diseño que se deberán de considerar para el diseño hidráulico de sistemas de alcantarillado.

3.5.1. Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño son aquellos elementos básicos para el desarrollo del diseño de un sistema de alcantarillado.

3.5.1.1. Período de diseño

La norma boliviana NB 688 menciona que el período de diseño es el tiempo el cual el sistema servirá de manera eficiente.²⁶

INFOM afirma lo siguiente: los sistemas de alcantarillado serán proyectados durante un período de diseño de 30 a 40 años, a partir de la fecha en que se desarrolle el diseño”.²⁷

3.5.1.2. Población

La norma boliviana NB 688 aclara que, para poder estimar la población futura en el proyecto, es imprescindible conocer cuál es la posible distribución de la población en el sector.²⁸

Las normas de Diseño de Alcantarillado del INFOM, indican que se estimará la población que tribute al sistema de alcantarillado al final del período de diseño haciendo uso de cualquier de los siguientes métodos:

- Incremento geométrico.

$$P = P_0 (1 + r)^n$$

Donde:

P Población proyectada (Hab)

P₀ Población inicial (Hab)

²⁶ Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. *Norma NB688: Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial.* p. 42.

²⁷ INFOM. *Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados.* p. 12.

²⁸ Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, Op. Cit. p. 43.

r	Tasa de crecimiento (%)
n	Período de diseño (años)

- Incremento aritmético.

$$P = P_0 + (P_1 - P_2) * \frac{t - t_0}{t_1 - t_0}$$

Donde:

P	Población proyectada (Hab)
P ₀	Población en el tiempo t ₀ (Hab)
P ₁	Población en el tiempo t ₁ (Hab)
P ₂	Población en el tiempo t ₂ (Hab)

- Incremento exponencial

$$P = P_0 * e^{\frac{r*n}{100}}$$

Donde:

P	Población proyectada (Hab)
P ₀	Población en el tiempo t ₀ (Hab)
r	Tasa de crecimiento (%)
n	Período de diseño (años)

La norma boliviana NB 688 indica que dicho método empleado para proyectar la población en base a su periodo de diseño se requiere conocer al menos tres censos y con esto determinar el promedio de la tasa de crecimiento.

Se recomienda para poblaciones que se considere apreciablemente su desarrollo y que posean áreas de expansión.²⁹

- Incremento o porcentaje decreciente.
- Proyección gráfica “a ojo”.³⁰

Para la estimación de la población a futuro se hará uso de información básica como población inicial y datos censales, los cuales son proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE).

Tabla XXIII. **Aplicación de métodos de cálculo para la estimación de la población futura**

Método	Población (Hab)			
	Hasta 2 000	De 2 001 - 10 000	10 001- 10 0000	Más de 100 000
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Exponencial		X**	X*	X

* Optativo, recomendable

** Sujeto a justificación.

Fuente: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. *Norma NB688: Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial.* p 44.

3.5.1.3. Estimación de áreas tributarias

Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados, INFOM (2001) dicen que el área tributaria del sistema de alcantarillado será de acuerdo con la localidad estudiada, la cual se considera formando un todo con las áreas

²⁹ Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, Op. p. 44.

³⁰ INFOM. *Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados.* p. 12.

adyacentes y que tributen al sistema por razones topográficas, demográficas y urbanísticas, también deberá de tomarse en cuenta para el diseño, fijar la capacidad y profundidad de los colectores, áreas de expansión que pueda que estas tributen al sistema.³¹

El texto anterior, también coincide con lo que la norma hondureña “Normas de Diseño para Alcantarillado Sanitario, Alcantarillado Pluvial y Tratamiento de aguas residuales” creada por El Servicio Autónomo de Acueductos y Alcantarillado (SANAA).

3.5.1.4. Puntos de descarga

El Instituto de Fomento Municipal en las Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados plantea lo siguiente:

En la selección de puntos de descarga se tomará en cuenta no ocasionar problemas de carácter sanitario a las localidades situadas aguas abajo, deben de protegerse los usos presentes y los futuros del cuerpo receptor por lo que todas las descargas deberán de ser tratadas. Para condiciones donde no lo permitan, se deberá de escoger un punto donde existan condiciones para construcción de una planta de tratamiento.³²

SANAA establece que: cada descarga al cuerpo receptor deberá de cumplir con las características físicas, químicas y bacteriológicos generales dadas por la Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario.³³

³¹ INFOM. *Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados*. p. 13.

³² *Ibíd.*

³³ SANAA. *Normas de Diseño para Alcantarillado Sanitario, Alcantarillado Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales*. p. 7

3.5.1.5. Caudal sanitario

Será la suma de los caudales que contribuirán al sistema los cuales son el caudal doméstico, caudal comercial, caudal industrial, caudal de infiltración y caudal de conexiones ilícitas.

Se establece que para el cálculo de la contribución de aguas residuales se debe de basarse en información histórica que exista, mediciones periódicas y en evaluaciones regulares.³⁴

$$Q_{\text{sanitario}} = Q_d + Q_c + Q_i + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ci}}$$

Donde:

Qd	Caudal domiciliar
Qc	Caudal comercial
Qi	Caudal industrial
Qinf	Caudal de infiltración
Qci	Caudal de conexiones ilícitas

La norma NB 688 indica lo siguiente: “la contribución de la descarga concentrada generalmente es la proveniente de industrias, comercios e instituciones públicas. Además, los valores que corresponden a los valores finales previstos deben estimarse los iniciales de caudal de operación para cada tramo, con el fin de verificar su comportamiento hidráulico del sistema en sus etapas iniciales”.³⁵

³⁴ Empresas Públicas de Medellín -EPM-. *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p. 5-87.

³⁵ Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. *Norma NB688: Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial*. p. 50.

3.5.1.6. Caudal medio diario de aguas residuales

La norma colombiana EPM incluye el caudal medio diario de aguas residuales (Q_{MD}) para una tubería con área tributaria dada, es la correspondiente a la suma del caudal de aguas residuales domésticas, industriales, comerciales, oficiales y especiales.³⁶

$$Q_{MD} = Q_d + Q_c + Q_i + Q_{of}$$

Donde:

Q_{MD}	Caudal medio diario (m^3/s)
Q_d	Caudal domiciliar (m^3/s)
Q_c	Caudal comercial (m^3/s)
Q_i	Caudal industrial (m^3/s)
Q_{inf}	Caudal de aguas residuales oficiales (m^3/s)

La normativa colombiana comenta que el caudal de uso oficial es aquel que está destinado a entidades de carácter oficial y establecimiento públicos, que estos no desarrollen actividades comerciales o industriales.

Además, EPM indica que se debe de calcular dicho caudal en el momento que entra en operación el sistema de alcantarillado, también para las condiciones finales que correspondan al período final de diseño. Para aquellos casos en donde los caudales industriales, comerciales, oficiales o especiales sean marginales o que no tengan participación, se calcularán con un porcentaje del caudal doméstico.³⁷

³⁶ Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p. 5-90.

³⁷ *Ibíd.* p. 5-91.

3.5.1.7. Caudal máximo horario final

La norma colombiana EPM establece que dicho caudal es la base para establecer el caudal de diseño para cada tramo de tubería que conforma la red de alcantarillado. Se calcula a partir del caudal final medio diario, utilizando un factor de mayoración (fqm).³⁸

$$Q_{MHF} = fqm * Q_d + Q_c + Q_i + Q_{of}$$

Donde:

Q _{MD}	Caudal medio diario (m ³ /s)
fqm	Factor de mayoración o FH (adimensional)
Q _d	Caudal domiciliar (m ³ /s)
Q _c	Caudal comercial (m ³ /s)
Q _i	Caudal industrial (m ³ /s)
Q _{inf}	Caudal de aguas residuales oficiales (m ³ /s)

3.5.1.8. Caudal de diseño

Es el caudal con el cual se diseñará cada tramo del sistema de alcantarillado, es correspondiente al acumulado hasta el pozo de visita aguas abajo y se calcula tomando en consideración el caudal sanitario.

$$Q_{diseño} = fqm * FH * P$$

Donde:

Q _{diseño}	Caudal de diseño (lt/s)
---------------------	-------------------------

³⁸ Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p. 5-91.

fqm	Factor caudal medio (adimensional)
FH	Factor de Harmon (adimensional)
P	Población (habitantes)

El caudal de diseño para cada tramo que conforma el sistema de alcantarillado es el correspondiente a la suma del caudal máximo horario final del día de mayor consumo de agua potable, incluyendo los aportes de caudal debido a la infiltración y conexiones ilícitas.³⁹

$$Q_{DT} = Q_{MHF} + Q_{inf} + Q_{ci}$$

Donde:

Q_{DT}	Caudal de diseño para cada tubería (m ³ /s)
Q_{Mhf}	Caudal máximo horario final (m ³ /s)
Q_{inf}	Caudal por infiltración (m ³ /s)
Q_i	Caudal industrial (m ³ /s)
Q_{inf}	Caudal por conexiones ilícitas (m ³ /s)

Es importante tener en cuenta que cuando el caudal de diseño en uno de los tramos será inferior a 1,50 L/s, se debe de adoptar este valor como el caudal de diseño.⁴⁰

3.5.1.8.1. Factor de caudal medio

Este factor es el cual regula la aportación del caudal en el tramo de tubería. Según en base a las normas del INFOM este factor varía entre 0,002 y 0,005.

³⁹ Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p. 5-92.

⁴⁰ *Ibíd.* p. 5-93.

$$f_{qm} = \frac{Q_{\text{sanitario}}}{P}$$

Donde:

f_{qm} Factor caudal medio (adimensional)

Q_{sanitario} Caudal sanitario (lt/s)

P Población (habitantes)

3.5.1.8.2. Factor de Harmon

El factor de Harmon es considera como un factor de mayoración que indica la probabilidad de que varios accesorios sanitarios en distintos domicilios se usen de manera simultánea. Este factor disminuye conforme aumenta el número de habitantes, esto se debe a que el consumo de agua potable se vuelve uniforme y asimismo el sistema de alcantarillado contribuye a amortiguar los picos del caudal.

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

Donde:

FH Factor de Harmon (adimensional)

P Población servida en miles de habitantes (hab/1 000)

La variación de este factor se puede establecer usando datos de campo, en caso de no contar con dichos datos, el diseñador debe de hacer una estimación en base a relaciones aproximadas como la de Harmon, la cual es válida para poblaciones menores a un millón de habitantes, y la de Flores, se puede calcular el factor de mayoración de forma directa, sin restricción.⁴¹

⁴¹ Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p. 5-91.

$$FF = \frac{3,5}{\sqrt{P}}$$

Donde:

FH Factor de Flores (adimensional)

P Población servida en miles de habitantes (hab/1 000)

De igual forma, se puede calcular el factor de mayoración en términos de caudal medio utilizando la ecuación de los Ángeles o de Tchobanoglous.

$$FA = \frac{3,53}{Q_{MDi}^{0,0914}}$$

Donde:

FA Factor de Los Ángeles (adimensional)

Q_{MDi} Caudal medio diario inicial (m³/s)

Esta ecuación únicamente es válida para caudales que se encuentren dentro del rango de 2,80 – 28,30 L/s.

$$FT = \frac{370}{Q_{MDi}^{0,0733}}$$

Donde:

FT Factor de Tchobanoglous (adimensional)

Q_{MDi} Caudal medio diario inicial (m³/s)

El factor de mayoración de Tchobanoglous es válida para valores de caudal de 4,00 – 5,00 L/s.

3.5.1.9. Diámetro nominal mínimo

Las Normas Generales para Diseño de Alcantarillado del INFOM indican que el diámetro mínimo a utilizar en sistema de alcantarillado será de 8 in para tubería de concreto o 6 in para tubería de PVC. Para conexiones domiciliarias, el diámetro mínimo será de 6 in para tubería de concreto y de 4 in para tubería de PVC, en la candela de registro domiciliario el diámetro mínimo será de 12 in.

Por otro lado, EPM indica que el diámetro mínimo permitido en redes de alcantarillado para la recolección y el transporte de aguas residuales de sección circular será de 200 mm o equivalente a 8 in.

3.5.1.10. Velocidad mínima

El INFOM indica que la velocidad mínima con el caudal de diseño será de 0,60 m/s y la velocidad máxima será de 3,00 m/s. Para tuberías con diámetro mayor a 1,00 m, se permite como velocidad máxima de 5,00 m/s.

Para proyectos en la ciudad de Guatemala, el Reglamento indica que la velocidad del flujo dentro de la tubería trabajando con el caudal mínimo no podrá ser menor de 0,30 m/s, a sección llena no será menos de 0,60 m/s y en ambos casos, la velocidad no podrá exceder 3,00 m/s.

Las Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de EPM afirman que para mantener limpias las tuberías y lavar los sólidos depositados durante períodos de bajo caudal, la velocidad mínima será de 0,45 m/s para condiciones encontradas al final del período de diseño. La velocidad máxima se recomienda

que sea de 5,00 m/s, salvo para tuberías plásticas, cuya velocidad recomendada es de 10,00 m/s.⁴²

3.5.1.11. Pendiente

La pendiente está relacionada con la velocidad del flujo, es decir, la velocidad es el parámetro que debe de cumplir, si esto no es así, se proponen pendientes diferentes hasta que la velocidad del flujo sea entre los valores mínimos y máximos.

3.5.1.12. Sifones

Las normas del INFOM señalan que solamente se permitirá el uso de sifones cuando sea imposible la colocación de tuberías con la tubería y pendiente necesarias como canal parcialmente lleno. Se deberá de diseñar para obtener una velocidad mayor, de preferencia 1,00 m/s, aunque se use tubería de menor diámetro que el diámetro mínimo. Para el uso de sifones, será necesario planear registros en sus dos extremos y emplear curvas de radio largo en los cambios de dirección vertical, con el fin de poder colocar limpiadores mecánicos o hidráulicos.

3.5.1.13. Continuidad de tuberías

De acuerdo con las Normas de Diseño para Alcantarillado Sanitario, Alcantarillado Pluvial y tratamiento de aguas residuales de Honduras, señala que el diámetro de cualquier tramo de alcantarillado sanitario será igual o mayor que el diámetro del tramo anterior aguas arriba y por ningún motivo podrá ser menor.

⁴² Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p. 5-93 y 5-94.

3.6. Cálculos hidráulicos

Para el dimensionamiento de la sección transversal de una tubería fluyendo parcialmente llena, bajo la condición de flujo uniforme, se debe de hacer uso de la ecuación de Darcy-Weisbach en conjunto con la ecuación de Manning, tomando en cuenta las restricciones que tiene esta en base a su aplicabilidad.⁴³

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

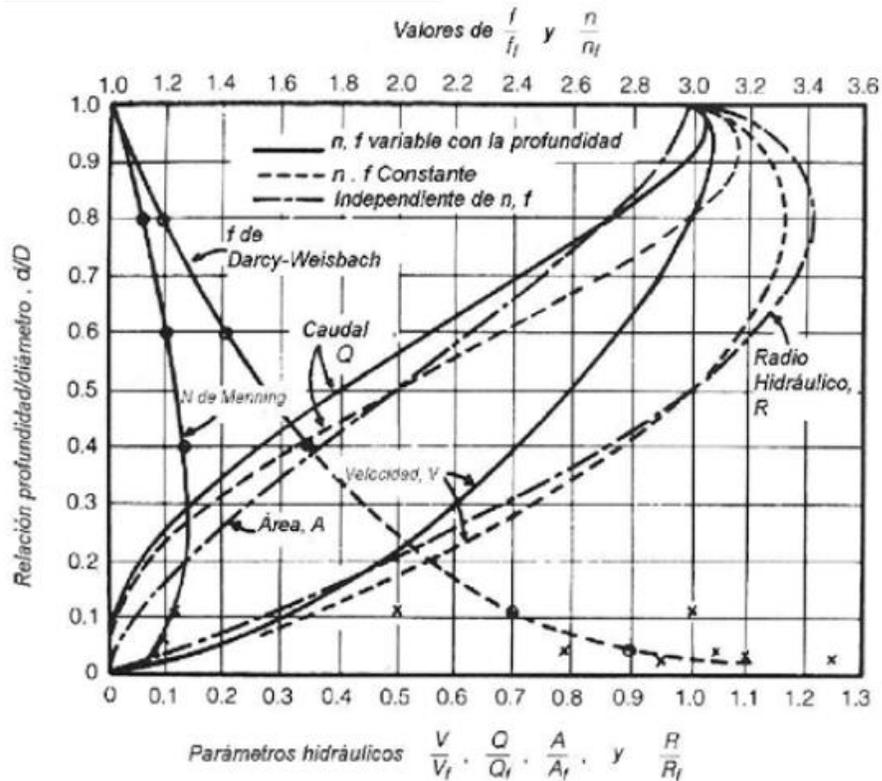
Donde:

- V Velocidad del flujo (m/s)
- n Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)
- R Radio hidráulico (m)
- S Pendiente longitudinal de la tubería (m/m)

Para el cálculo del coeficiente de Manning que corresponda a otras profundidades, se debe de utilizar la Figura 5, con el objetivo de calcular el factor para posteriormente ser multiplicado por dicho coeficiente, en caso de que la profundidad del flujo sea distinta al diámetro interno de la tubería.

⁴³ Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p. 4-73.

Figura 5. Coeficiente de rugosidad correspondiente a profundidades del flujo, diferentes al diámetro interno de la tubería



Fuente: Empresas Públicas de Medellín. *Normas de diseño de sistemas de alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín*. p. 4-74.

Para el cálculo de la capacidad, velocidad, diámetro y pendiente se hará aplicando la fórmula de Manning, para secciones circulares.

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

Donde:

V Velocidad del flujo a sección llena (m/s)

n Coeficiente de rugosidad (adimensional)

- D Diámetro de la sección (in)
 S Pendiente del tramo (m/m)
 0,03429 Constante que se obtiene por área/perímetro a sección llena

Tabla XXIV. **Coefficiente de rugosidad**

Material	Coefficiente n
Tubos de PVC	0,010
Tubos de concreto	0,014

Fuente: INFOM. *Normas Generales para el Diseño de Alcantarillado*. p 15.

Para el cálculo del caudal a sección llena se hará uso de la siguiente fórmula

$$Q = V * A$$

Donde:

- Q Caudal a sección llena (m³/s)
 V Velocidad del flujo a sección llena (m/s)
 A Área de la sección (m²)

Cada tramo del sistema de alcantarillado se calculará con el caudal que tengan en el extremo más bajo del tramo.

3.6.1. Relaciones hidráulicas

Los sistemas de alcantarillado comúnmente trabajan a sección parcialmente llena, esto se debe a que el caudal nunca es constante, y esto

provoca la variación del flujo que a su vez hace variar el área transversal del líquido y la velocidad de éste.⁴⁴

Para el cálculo de las tuberías que trabajan a sección parcialmente llena, se han relacionado con los términos a sección totalmente llena, con el objetivo de facilitar y agilizar los resultados de velocidad, área, caudal, perímetro mojado y el radio hidráulico.⁴⁵

- Relación de caudal

$$\frac{q}{Q}$$

Donde:

- q Caudal por tramo (lt/s)
- Q Caudal a sección llena (lt/s)

- Relación de velocidad

$$\frac{v}{V}$$

Donde:

- v Velocidad por tramo (m/s)
- V Velocidad a sección llena (m/s)

⁴⁴ LÓPEZ, Marvin. *Diseño del alcantarillado sanitario de la aldea Cantel y puente vehicular en la cabecera del municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos*. p. 28.

⁴⁵ *Ibíd.*

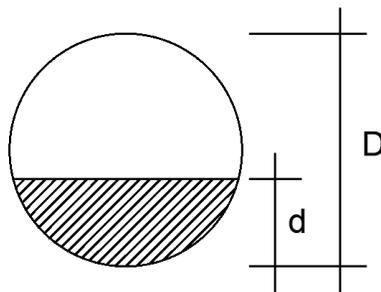
- Relación de tirante

$$\frac{d}{D}$$

Donde:

- d Tirante por tramo (in)
D Diámetro de la tubería (in)

Figura 6. **Relación tirante y diámetro**



Fuente: Elaboración propia, empleando AutoCAD.

El tirante hidráulico en sistemas de alcantarillado sanitario para tubería de concreto o de PVC debe de estar comprendido en un valor del 10 al 75 % del diámetro interno de la tubería seleccionada. Para sistemas de alcantarillado pluvial, el valor máximo del tirante hidráulico será del 90 %.

En el diseño sanitario se deberá de determinar los valores de velocidad y caudal a sección llena por medios de las ecuaciones establecidas, y se procederá a obtener la relación de caudal es (q/Q); el resultado que se obtenga se busca

en las tablas de relaciones hidráulicas, donde también se podrán encontrar las relaciones (v/V) y (d/D) .⁴⁶

Tabla XXV. **Especificaciones hidráulicas**

	Sanitario	Pluvial
Caudal	$Q_{\text{diseño}} < Q_{\text{secllena}}$	$Q_{\text{diseño}} < Q_{\text{secllena}}$
Velocidad	$0,60 \text{ m/s} < v < 3,00 \text{ m/s}$	$0,60 \text{ m/s} < v < 3,00 \text{ m/s}$
Tirante	$0,10 \leq d/D \leq 0,75$	$d/D \leq 0,90$
Diámetro	6 in (PVC) 8 in (T.C)	10 in

Para tuberías mayores a 1m de diámetro, la velocidad máxima puede ser hasta 5,00 m/s.

Fuente: BOC CANEL, Luis Marcelino. *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la aldea Lo de Gómez, San Juan Sacatepéquez, Guatemala.* p. 33.

3.7. Profundidad de las tuberías

Las normas creadas por el INFOM menciona que la profundidad mínima del coronamiento de la tubería con respecto a la superficie del terreno debe de ser 1,00 m. Por otro lado, cuando la altura del coronamiento de la tubería principal resulte a una profundidad mayor de 3,00 m, se diseñará una tubería auxiliar sobre la principal para las conexiones domiciliarias del tramo al que le corresponda.

⁴⁶ BOC, Luis. *Diseño del sistema alcantarillado sanitario para la Aldea Lo de Gómez, San Juan Sacatepéquez, Guatemala.* p. 22.

3.8. Ubicación de la tubería

Las Norma de Diseño de Honduras establecen que la tubería de alcantarillado sanitario irá en la mitad de la calle y separada de la tubería de agua potable; siempre deberá colocarse bajo la tubería de agua potable.

Por otro lado, la Municipalidad de Guatemala señala que los ramales principales de un sistema combinado se colocarán en el eje central de calles y avenidas.

3.9. Pozos de visita

Conforme las Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados los pozos de visita se diseñarán para localizarlos en los siguientes casos:

- En cambios de diámetro.
- En cambios de pendiente.
- En cambios de dirección horizontal para diámetro menores a 24 in.
- En las intersecciones de tuberías colectoras.
- En los extremos superiores de ramales iniciales.
- A distancias no mayores de 100 m en línea recta en diámetros hasta 24 in.
- A distancias no mayores de 300 m en diámetros superiores de 24 in.

El fondo de los pozos de visita deberá de tener canales los cuales permitan dirigir los caudales hacia la tubería de salida.

No se permitirá una caída en la entrada del pozo de visita mayor a 0,25 m sin accesorio especial que ocasione un caudal con el mínimo de turbulencia. El diámetro del pozo de visita en la base no deberá ser menor a lo especificado en la tabla XXI.

Tabla XXVI. **Diámetro mínimo de los pozos de visita**

Diámetro de tubería Efluente mayor		Diámetro mínimo del pozo de visita
in	m	m
10	0,25	1,50
12	0,30	1,50
14	0,35	1,50
16	0,41	1,50
18	0,46	1,50
20	0,51	1,50
22	0,56	1,75
24	0,61	1,75
26	0,66	1,75
28	0,71	1,75
30	0,76	1,75
36	0,91	2,00
40	1,02	2,00
50	1,27	2,25
60	1,52	2,50

*En diámetros mayores de tubería descritos en la tabla anterior, el diámetro mínimo del pozo será el diámetro de la tubería efluente mayor más 1,00 m.

Fuente: Municipalidad de Guatemala. *Reglamento para diseño y construcción de drenajes*. p. Sección 205.

3.10. Separación de sistemas

Las Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua potable y Alcantarillados de Aguas Negras creada por la Administración Nacional de

Acueductos y Alcantarillados (ANDA) de El Salvador establece que, para evitar la contaminación del agua potable, se deberán de separar los sistemas de abastecimiento de agua y el sistema de alcantarillado de la siguiente manera:

- En planimetría: las alcantarillas al lado opuesto de los acueductos, es decir, al sur de las calles y al poniente de las avenidas a 1,50 m de separación horizontal mínima.
- La red de alcantarillados se proyectará de manera que todos los colectores queden debajo de los acueductos con una separación mínima libre de 20 cm.
- Las intersecciones de alcantarillados de aguas negras con colectores de aguas pluviales tendrán una separación vertical mínima de 15 cm libres.
- Las zanjas de alcantarillado no podrán utilizarse para asentar ningún otro tipo de tuberías.⁴⁷

La Municipalidad de Guatemala menciona que las tuberías de drenaje no se colocarán en la misma zanja que la de agua potable y la distancia horizontal entre ella será para aguas servidas y agua potable de 1,50 m; y para aguas pluviales y agua potable será de 1,00 m.

3.11. Planos

En base a las Normas Generales para el Diseño de Alcantarillado del INFOM indican que se tendrá que incluir un juego de planos, en donde se indique el número y nombre para cada uno, según lo indicado en el cuadro de identificación en el plano.

⁴⁷ ANDA. *Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras*. p. 20 y 21.

Los planos serán de las siguientes dimensiones, 85 cm de largo y 60 cm de ancho, con un margen de 1 cm en el borde superior, inferior y derecho; y 3 cm en el borde izquierdo. En la esquina inferior derecha tendrá un cuadro con dimensiones de 16 cm de largo y 9 cm de ancho, en donde se incluirá la siguiente información:

- Identificación del INFOM.
- Población de que se trata.
- Departamento a que pertenece.
- Descripción del contenido del plano.
- Personal responsable del diseño.
- Dibujo
- Revisión
- Escalas
- Fechas
- Número de hoja

El proyecto completo deberá de contener los siguientes planos:

- Plano de la localización de la población.
- Fotocopia de la parte trascendente del plano a escala 1:50 000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN) en donde se indique la población a cubrir con el sistema de alcantarillado, especificando el punto de descarga y punto de tratamiento.
- Plano topográfico de la población con curvas de nivel a cada metro. En este plano deberán de aparecer las estaciones de tránsito con cota y número de identificación, también deberán de indicarse las marcas de nivelación con el número de identificación y descripción de estas.

- Plano de densidad de población en cada vivienda, donde estas se representen con un rectángulo y demás estructuras identificadas respectivamente. Si en dado caso existiese sistema de desagües, se podrá usar este plano para indicar lo existente.
- Plano de planta general del sistema de alcantarillado, a la misma escala que los planos topográficos y densidad de población. Este plano también servirá como índice de los planos parciales, representado por una línea punteada la parte que abarca cada una de ellas.
- Planos parciales de planta-perfil, se dibujará a escala ampliada las diferentes partes en las que se haya dividido el plano general. Las escalas horizontales y verticales deberán de permitir representar con claridad la información necesaria para la construcción de la red. Los perfiles correspondientes a cada tramo deben de aparecer completos y en la misma hoja.
- Planos de planta de tratamiento diseñada.
- Planos de detalles con todas las obras accesorias y estructuras especiales.

4. NECESIDAD DE UNA NORMA

4.1. Definición de Norma

COGUANOR plantea lo siguiente: una norma técnica es un documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que proporciona, para un uso común y repetido, reglas, directrices o características para actividades, con el fin de conseguir un grado óptimo de un orden en un contexto dado.⁴⁸

Además, también incluye que toda norma debe estar realizada por el sector interesado en establecer los requisitos y características técnicas mínimas a cumplir y evaluar para la producción de un bien, proceso o servicio.

COGUANOR agrega que los principios básicos de normalización es la representatividad, consenso, consulta pública, modificación y actualización.

4.2. Necesidad de una norma en Guatemala

Yáñez asegura lo siguiente:

Para el diseño de obras civiles se deben de considerar normativas a nivel local o la sugerida de aceptación internacional. Sin embargo, existen problemas al respecto, aún hay carencia fuerte de normas para algunas

⁴⁸ COGUANOR. *La normalización en Guatemala*. <https://www.mineco.gob.gt/comisi%C3%B3n-guatemalteca-de-normas#normalizacion>. Consulta: 23 de abril de 2021.

áreas de ingeniería, y no todas las normas son de aceptación generalizada. En base a lo anterior, resulta de suma importancia que se conozca y se aplique la normativo para los proyectos, pues de esta manera se cumplen con los requisitos de seguridad, se agiliza el proceso de aprobación de los diseños y se logran diseños optimizados, favoreciendo la competitividad de quienes aplican las normas.⁴⁹

Es imprescindible que todo proyecto que mejore las condiciones de vida de la población se deba de diseñar basándose en normas aprobadas, en donde se cumplan los requerimientos mínimos para la mejor funcionalidad del proyecto.

Los ingenieros que se dedican al diseño y ejecución de proyectos enfocados en Ingeniería Civil deben de conocer todas las normas aplicables a nivel nacional para poder competir en el ámbito, de lo contrario, se encuentran fuera de poder participar en proyectos públicos o privados.

4.3. Importancia de una norma

Para dimensionar la importancia de la normatividad Yáñez expone lo siguiente: El fortalecimiento de la competitividad económica tiene como uno de sus factores clave la existencia de una regulación eficiente y una estructura de normas simplificada que involucre bajos costos en su cumplimiento, de modo que estén realmente enfocadas a las necesidades de los ciudadanos.⁵⁰

La importancia de usar normas en los proyectos implica en asegurar al sector beneficiado que dicho proyecto es seguro, cumple con las necesidades del cliente o la población que se beneficiará de este servicio, mejorar la calidad

⁴⁹ YÁÑEZ, David. *El uso de las normas nacionales e internacionales como elemento de competitividad en práctica profesional de servicios de Ingeniería Civil*. p. 1.

⁵⁰ *Ibíd.* p. 4.

de vida de la población cuando se trata de servicios públicos, el funcionamiento del servicio será de forma eficiente y finalmente, que el proyecto civil funcione el tiempo proyectado prestando su servicio.

La competitividad está ampliamente relacionada con la normatividad y de este modo que los profesionales apliquen sus conocimientos en el ámbito, se logran proyectos eficientes, mejora de los servicios con ampliaciones y de esta manera favorecer la calidad de vida de la población.

Al aplicar normas adecuadas según los proyectos que se desean diseñar, beneficia la obtención de experiencia de los profesionales, permite a estos optimizar los procesos para aprobar el diseño y como consiguiente la satisfacción de los clientes.

Implementar normas en distintos campos de ingeniería contribuye en la solución de distintos conflictos, en este caso, el uso de normas facilita el diseño de sistemas de alcantarillado, lo cual permite asegurar un diseño adecuado en base a las necesidades de la población.

4.4. Consecuencias por la falta de una norma

La falta de una normativa adecuada a cada proyecto ocasiona que estos no se trabajen de la manera en la que se espera o que el diseño no sea óptimo para las condiciones de la población. Esto representa una limitante al momento de querer implementar un nuevo proyecto en la comunidad y esperar un resultado satisfactorio de este. Cuando no existe una norma se pueden ocasionar dificultades para el diseño de proyectos y retraso para cumplir con las necesidades.

Por lo tanto, sin el conocimiento integral de las normas aplicables, el proceso de emisión, revisión y aprobación del diseño resulta lento y puede conllevar a recurrir en deficiencias en la medida en que no se cubran todos los requisitos.⁵¹

Cuando no se hace uso de una norma, esta ocasiona dificultad en el diseño de la red de alcantarillado, además no se tiene la seguridad que el diseño sea apto para las condiciones y necesidades de la población; se pueden obtener sistemas eficientes, pero económicamente irrealizables, por otro lado, sistemas ineficientes, pero económicamente factibles para la población.

⁵¹ YÁÑEZ, David. *El uso de las normas nacionales e internacionales como elemento de competitividad en práctica profesional de servicios de Ingeniería Civil*. p. 6

5. RESULTADOS ESPERADOS

- La intención de proponer una normativa que se aplique en Guatemala es promover el uso y enfoque común de los diseños de sistemas de alcantarillado y con esto conseguir los resultados esperados, mejorando los servicios de saneamiento de la población.
- Proyectos de calidad que satisfagan el gasto diario de la población, que se cumplan los requisitos y como consiguiente que cause satisfacción en el cliente. Además, donde se analice y se comprenda la necesidad de la población, de esta manera obtener sistemas adecuados y poder mejorar la calidad de vida de la población.
- Asegurar que los ingenieros proyectistas empleen una normativa aplicable al país, de esta forma realizar diseños aptos para las condiciones de vida de la población y que se asegure que sean óptimos para el tiempo de servicio proyectado.
- Se espera que esta normativa se haga uso en el sector público como en el privado, con el fin de aumentar la confianza de los proyectos asegurando las características a cumplir tanto en diseño como en la presentación del proyecto y los estudios necesarios.
- Realizar estudios pertinentes para tener el enfoque a las necesidades mínimas que la población desea mejorar con un sistema de saneamiento adecuado, con esto tener prevista a la población que hará uso del sistema

hasta el final del período de diseño y que este sistema funcione de manera adecuada sin causar inconformidades al sector beneficiado.

- Empleo de materiales que sean apropiados para el caudal que conducirá el sistema, con esto se puede evitar inconformidades en la población en base al funcionamiento del sistema, además asegurar que se hará uso de material normalizado en Guatemala y que este no presente algún tipo de falla física en el material.
- Se espera que con la propuesta de norma se mejore la situación de saneamiento en localidades donde no se cuenta con un sistema de alcantarillado, de esta manera para evitar la propagación de enfermedades y como consiguiente mejorar la calidad de vida de la población beneficiada.

CONCLUSIONES

1. Basándose en los distintos análisis de las guías y normas empleadas para el desarrollo del trabajo de investigación, se pudo determinar que los parámetros o requerimientos mínimos para el desarrollo del diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial difieren en cada país. La comparación de estas permitió identificar que, a nivel regional los documentos empleados coinciden en su mayoría. Además, se pudo conocer que la mayoría de los documentos, el diseño hidráulico se hace empleando la fórmula de Manning y el cálculo del caudal se hace en base a la sumatoria de los distintos caudales que tributan a la red de alcantarillado.
2. La propuesta de la norma de diseño para sistemas de alcantarillado aplicable al país se hizo basándose en las Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados del Instituto de Fomento Municipal (INFOM), se emplearon conceptos del Reglamento para diseño y construcción de drenajes de la municipalidad de Guatemala, se hizo uso de requerimientos mínimos de las distintas normativas empleadas en cada país. La propuesta integra estudios preliminares y estudios técnicos que se deberán de realizar antes de dar inicio al diseño de sistema de alcantarillado, con esto para conocer la situación climática, características de la población, condiciones sanitarias, económica, entre otros.
3. La propuesta de norma incorpora criterios y requisitos mínimos que se deberán de cumplir en el diseño del sistema de alcantarillado, con el propósito de asegurar sistemas confiables y que estos funcionen de

manera adecuada a partir de la cantidad de caudal que demanda en la localidad. Además, se requiere que se cumplan con dichos parámetros para asegurar que el sistema funcione durante el período de diseño. Con la norma se espera mejorar la situación de saneamiento de la población donde no cuentan con una red de alcantarillado, o bien sea para ampliación del sistema existente.

RECOMENDACIONES

1. Considerar cada uno de los caudales que tributarán a la red de alcantarillado y determinar si esta red será separativa o combinada, en base a esto emplear los parámetros de diseño necesarios para el diseño adecuada de la red.
2. Realizar modificaciones o actualizaciones formales y que estén sean aprobadas por la entidad promotora pertinente para las distintas normas de diseño que se utilizan en el país, dado que se tienen normas antiguas, como lo son las Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados del INFOM es del año 2001.
3. Cumplir con cada requisito mínimo para el diseño hidráulico del sistema, con esto se aseguran sistemas confiables. Al hacer uso de criterios que no estén dentro de la norma estos serán debidamente justificados.
4. Promover el uso de materiales que sean nuevos y que estos cumplan con las distintas normativas para asegurar materiales de calidad y que estos funcionen de la manera en la que se espera.
5. Llevar a cabo los estudios necesarios para conocer la situación social, política, económica, climática, ubicación, condiciones sanitarias y demás características relevantes de la localidad, para el reconocimiento y deficiencia de los servicios básicos de la localidad.

6. Incluir planos que detallen cada elemento de la red de alcantarillado, para asegurar la construcción correcta y de esta manera garantizar que el servicio de saneamiento será eficiente y cumplirá con la necesidad de evacuar las aguas residuales del área. También se deberá incluir planos de planta-perfil de la red de alcantarillado, plano que incluya las curvas de nivel y los demás planos que son requeridos junto con la memoria de cálculo respectiva a cada tramo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA). *Normas Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillados de Aguas Negras*. El Salvador: 1998 y 2014.
2. AGUILAR RUIZ, Pedro. *Apuntes sobre el curso de Ingeniería Sanitaria 1*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 41 y 46 p.
3. BOC CANEL, Luis Marcelino. *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la Aldea Lo de Gómez, San Juan Sacatepéquez, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 22 y 33 p.
4. BUQUEZ FLORES, Joy Martin. *Viabilidad del diseño de red de alcantarillado sanitario con el sistema condominial frente al sistema convencional, Carhuacallanga, Huancayo 2017*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana Los Andes, 2017. 27 p.
5. CABRERA, Manuel y MÉNDEZ, Ernesto. *Norma para el Diseño del Drenaje Pluvial Urbano, Alcances y Oportunidades*. México: 2012. 28 p.

6. COGUANOR. *La normalización en Guatemala*. [en línea]. <<https://www.mineco.gob.gt/comisi%C3%B3n-guatemalteca-de-normas#normalizacion>>. [Consulta: 23 de abril de 2021].
7. Comisión Nacional del Agua -CONAGUA-. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México: 2009. 122 p.
8. Empresas Públicas de Medellín -EPM-. *Historia*. [en línea]. <<https://www.epm.com.co/site/home/nuestra-empresa/historia>>. [Consulta 27 de mayo de 2020].
9. Empresas Públicas de Medellín -EPM-. *Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín (EPM)*. Primera Edición. Colombia: 2009. 239 p.
10. ESTRADA GÓMEZ, Yuri Andrea & ROJAS HERRERA, Diego Alexis. *Comparación entre el método racional y el método del número de curva para la estimación de caudales, caso de estudio puente vehicular del proyecto residencial Refugio de Bassedonia I*. Trabajo de graduación para el título de Especialista en Recursos Hídricos. Universidad Católica de Colombia, 2013. 28 p.
11. Great Lakes – Upper Mississippi River Board of State and Provincial Public Health and Environmental Managers. *Recommended Standards for Wastewater Facilities*. USA: 2014. 175 p.

12. GUTIÉRREZ DEL CID, José Fernando. *Sistema de información geográfica aplicado al desarrollo de energía eólica en Guatemala*. Trabajo de graduación para Ing. Mecánico. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 51 p.
13. INAA. *Guías Técnicas para el Diseño de Alcantarillado Sanitario y Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Nicaragua: 2005. 171 p.
14. INFOM. *Estudios técnicos*. [en línea]. <<http://www.infom.gob.gt/nuestros-servicios/estudios-tecnicos/>>. [Consulta: 13 de abril de 2021].
15. INFOM. *Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados*. Guatemala: 2001.
16. INFOM. *Unidad de Estudios Técnicos*. [en línea]. <<http://www.infom.gob.gt/archivos/memoria-de-labores/2016/Unidad-estudios-tecnicos/UET-Mem-Lab-042016.pdf>>. [Consulta: 13 de abril de 2021].
17. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. *Norma NB688: Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial*. Bolivia: 2007. 250 p.
18. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados -A y A-. *Historia*. [en línea]. <<https://www.aya.go.cr/conozcanos/SitePages/Nuestra%20Historia.aspx>>. [Consulta: 7 de septiembre de 2020].

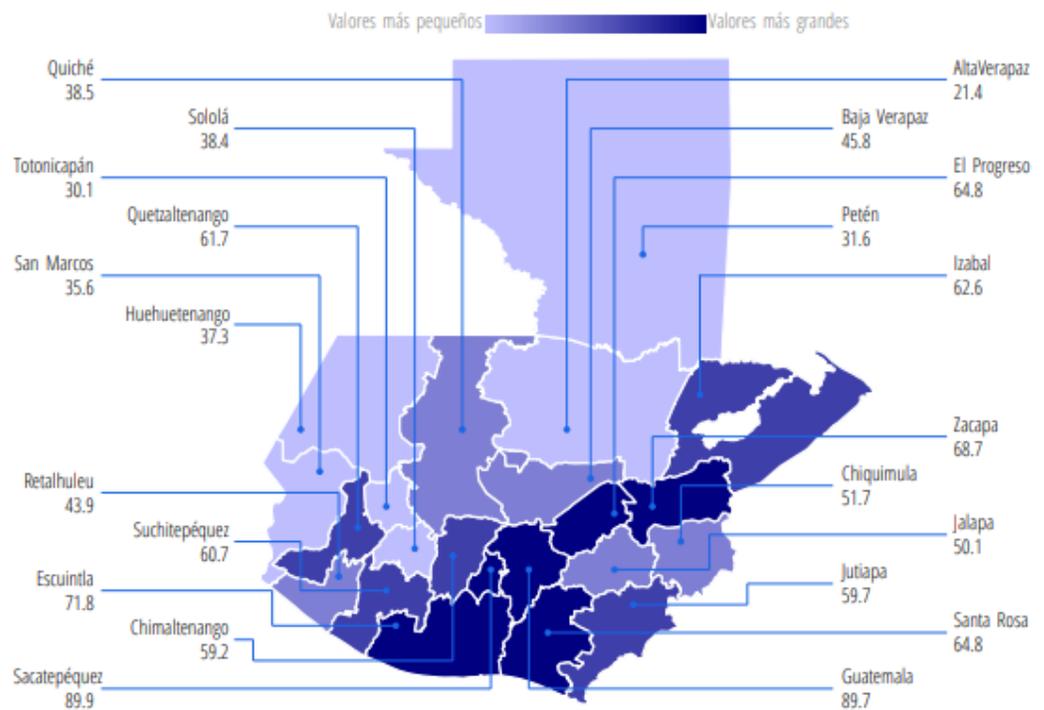
19. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados -A y A-. *Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial*. Costa Rica: 2017. 201 p.
20. LENTINI, Emilio. *Servicios de agua potable y saneamiento en Guatemala: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Chile: 2010. 95 p.
21. LÓPEZ PÉREZ, Marvin Antonio. *Diseño del alcantarillado sanitario de la aldea Cantel y puente vehicular en la cabecera del municipio de San Pedro Sacatepéquez, San Marcos*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 28 p.
22. MEJÍA, Roberto. *Redes de Alcantarillado Simplificado*. Colombia: 1993. 32 p.
23. MOLLINEDO, Fernando. *Agua en Guatemala*. [en línea]. <<https://guatehistoria.com/breve-historia-del-agua-en-guatemala/>>. [Consulta: 7 de septiembre de 2020].
24. Municipalidad de Guatemala. *Reglamento para diseño y construcción de drenajes*. Guatemala: 1964. 33 p.
25. QUIJADA SAGASTUME, Ramón Estuardo. *Estudio y diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la colonia Las Brisas de la Ciudad de Chiquimula*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. XIII p.

26. Reglamento Nacional de Edificaciones -RNE-. *Norma OS. 070 Redes Aguas residuales*. Perú: 2009. 11 p.
27. Reglamento Nacional de Edificaciones -RNE-. *Norma OS. 100 Consideraciones Básicas de Diseño de Infraestructura Sanitaria*. Perú: 2009. 7 p.
28. ROSALES ZELADA, Sergio Víctor. *Diseño de tramo carretero, para el acceso directo al cantón Lourdes, del municipio de Guatemala, departamento de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2005. 23-24 p.
29. SALAZAR, Doreen & PROARCA. *Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales*. Enfoque Centroamérica: 2004. 90 p.
30. SANAA. *Historia*. [en línea]. <<http://www.sanaa.hn/index.php/nosotros/historia-sanaa>>. [Consulta: 20 de agosto de 2020].
31. _____. *Normas de Diseño para Alcantarillado Sanitario, Alcantarillado Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales*. Honduras: 2004. 118 p.
32. _____. *Reglamento para regular el uso de los sistemas de agua potable, alcantarillado sanitario y pluvial, para urbanizaciones, fraccionamientos y edificios para el área del Distrito Central*. Honduras: sf. 32 p.

33. YAÑEZ SANTILLÁN, David. *El uso de las normas nacionales e internacionales como elemento de competitividad en las prácticas profesional de servicios de Ingeniería Civil*. México: 2012. 6 p.

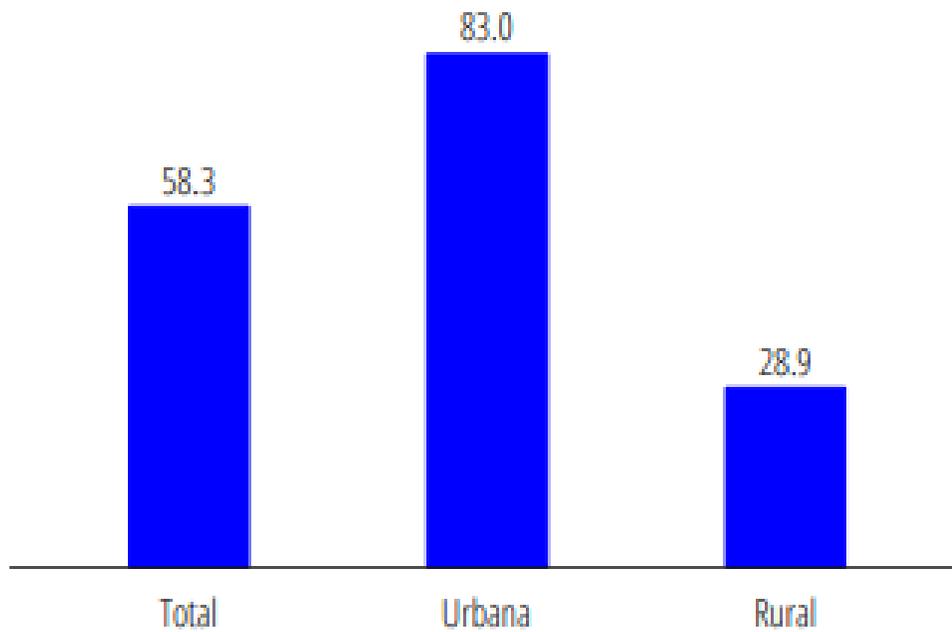
ANEXOS

Anexo 1. Proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados



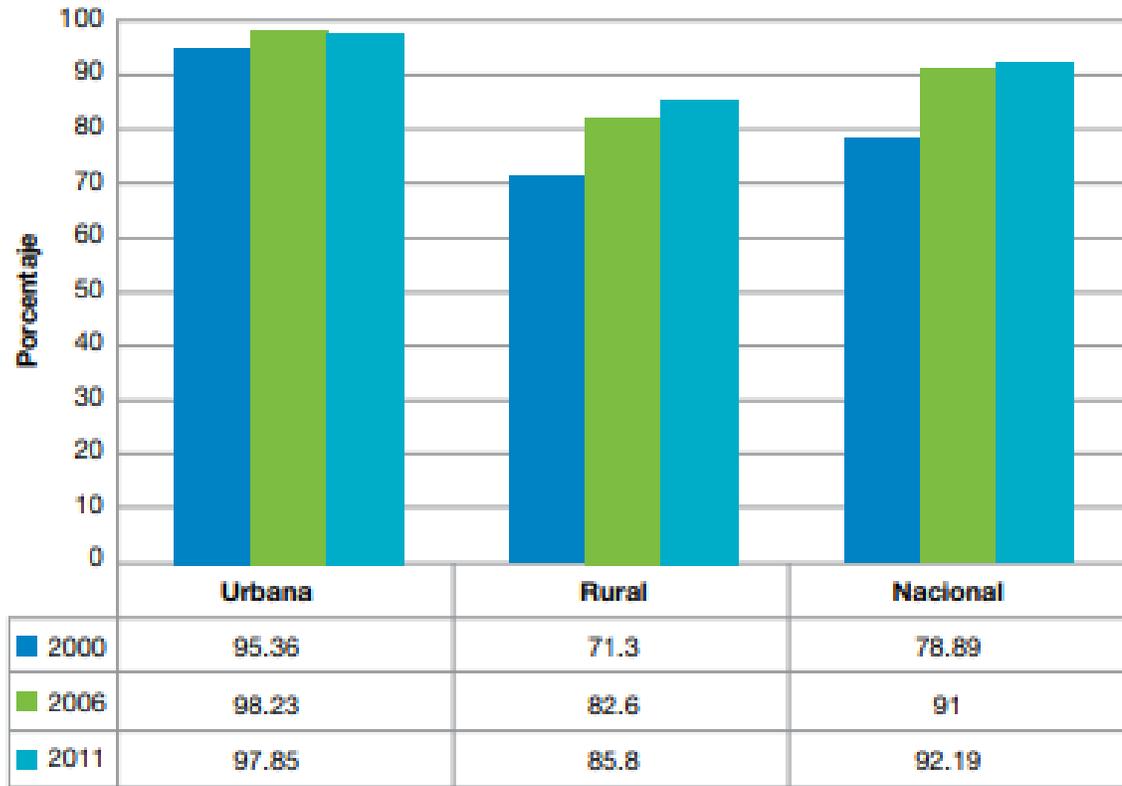
Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). *República de Guatemala: Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2014*. p 47.

Anexo 2. **Proporción de la población con acceso de servicios de saneamiento mejorados por área por residencia**



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE). *República de Guatemala: Encuesta Nacional de Condiciones de Vida 2014*. p 46.

Anexo 3. Cobertura del servicio de saneamiento a nivel nacional, área urbana y área rural. Años 2000, 2006 y 2011



Fuente: IARNA. *Perfil Ambiental de Guatemala*. p 25.

Anexo 4. Relaciones hidráulicas

d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q
0,0050	0,00060	0,050	0,000030	0,1325	0,07855	0,479	0,034625	0,4700	0,46178	0,973	0,44931
0,0075	0,00110	0,074	0,000081	0,1350	0,08071	0,484	0,039064	0,4800	0,47454	0,983	0,46647
0,0100	0,00167	0,088	0,000147	0,1375	0,08289	0,490	0,040616	0,4900	0,48742	0,991	0,48303
0,0125	0,00237	0,103	0,000244	0,1400	0,08509	0,495	0,042120	0,5000	0,50000	1,000	0,50000
0,0150	0,00310	0,116	0,000360	0,1425	0,08632	0,501	0,432470	0,5100	0,51258	1,009	0,51719
0,0175	0,00391	0,129	0,000604	0,1450	0,08954	0,507	0,042394	0,5200	0,52546	1,016	0,53387
0,0200	0,00447	0,141	0,000672	0,1475	0,81290	0,511	0,046647	0,5300	0,53822	1,023	0,55060
0,0225	0,00469	0,152	0,000865	0,1500	0,09406	0,517	0,048629	0,5400	0,55087	1,029	0,56685
0,0250	0,00665	0,163	0,001084	0,1525	0,09438	0,522	0,050310	0,5500	0,56355	1,033	0,58215
0,0275	0,00768	0,174	0,001336	0,1550	0,09864	0,528	0,052082	0,5600	0,57621	1,049	0,60440
0,0300	0,00874	0,184	0,001608	0,1575	0,10095	0,533	0,053806	0,5700	0,58882	1,058	0,62297
0,0325	0,00985	0,194	0,001911	0,1600	0,10328	0,538	0,055665	0,5800	0,60120	1,060	0,63750
0,0350	0,01100	0,203	0,002233	0,1650	0,10796	0,548	0,059162	0,5900	0,61396	1,066	0,65488
0,0375	0,01219	0,212	0,002584	0,1700	0,11356	0,560	0,068594	0,6000	0,62646	1,072	0,67157
0,0400	0,01342	0,221	0,002966	0,1750	0,11754	0,568	0,066763	0,6100	0,63892	1,078	0,68876
0,0425	0,01468	0,230	0,003376	0,1800	0,12241	0,577	0,070630	0,6200	0,65121	1,083	0,70537
0,0450	0,01599	0,239	0,003822	0,1850	0,12733	0,587	0,074743	0,6300	0,66363	1,089	0,72269
0,0475	0,01732	0,248	0,004295	0,1900	0,13229	0,596	0,078845	0,6400	0,67593	1,094	0,73947
0,0500	0,01870	0,256	0,004787	0,1950	0,13725	0,605	0,083036	0,6500	0,68770	1,098	0,75510
0,0525	0,02010	0,264	0,005306	0,2000	0,14238	0,615	0,087564	0,6600	0,70053	1,104	0,77339
0,0550	0,02154	0,273	0,005880	0,2050	0,14750	0,624	0,091040	0,6700	0,71221	1,108	0,78913
0,0575	0,02300	0,281	0,006463	0,2100	0,15266	0,633	0,096634	0,6800	0,72413	1,112	0,80523
0,0600	0,02449	0,289	0,007078	0,2150	0,15786	0,644	0,101662	0,6900	0,73596	1,116	0,82133
0,0625	0,02603	0,297	0,007731	0,2200	0,16312	0,651	0,106191	0,7000	0,74769	1,120	0,83741
0,0650	0,02768	0,305	0,008412	0,2250	0,16840	0,659	0,110976	0,7100	0,75957	1,124	0,85376
0,0675	0,02916	0,312	0,009098	0,2300	0,17356	0,669	0,116112	0,7200	0,77079	1,126	0,86791
0,0700	0,03078	0,320	0,009850	0,2350	0,17913	0,676	0,121092	0,7300	0,78216	1,130	0,88384
0,0725	0,03231	0,327	0,010565	0,2400	0,18455	0,674	0,126232	0,7400	0,79340	1,132	0,89734
0,0750	0,03407	0,334	0,011379	0,2450	0,19000	0,692	0,131480	0,7500	0,80450	1,134	0,81230
0,0775	0,03576	0,341	0,012194	0,2500	0,19552	0,702	0,137260	0,7600	0,81544	1,136	0,82340
0,0800	0,03747	0,348	0,013040	0,2600	0,20660	0,716	0,147930	0,7700	0,82623	1,137	0,93942
0,0825	0,03922	0,355	0,013923	0,2700	0,21784	0,730	0,159020	0,7800	0,83688	1,139	0,95321
0,0850	0,04098	0,361	0,014794	0,2800	0,22921	0,747	0,171220	0,7900	0,85101	1,140	0,97015
0,0875	0,42770	0,368	0,015739	0,2900	0,24070	0,761	0,183170	0,8000	0,86760	1,140	0,98906
0,0900	0,04459	0,375	0,016721	0,3000	0,25232	0,776	0,195800	0,8100	0,87759	1,140	1,00040

Continuación anexo 4:

d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q
0,0925	0,04642	0,381	0,017819	0,3100	0,26403	0,790	0,208580	0,8200	0,87759	1,140	1,00050
0,0950	0,04827	0,388	0,018729	0,3200	0,27587	0,804	0,221800	0,8300	0,88644	1,139	1,00970
0,0975	0,05011	0,393	0,019693	0,3300	0,28783	0,817	0,235160	0,8400	0,89672	1,139	1,02140
0,1000	0,05204	0,401	0,020863	0,3400	0,29978	0,830	0,248820	0,8500	0,90594	1,138	1,03100
0,1025	0,05396	0,408	0,022016	0,3500	0,31230	0,843	0,263270	0,8600	0,91491	1,136	1,04740
0,1050	0,05584	0,414	0,023118	0,3600	0,32411	0,856	0,277440	0,8700	0,92361	1,134	1,04740
0,1075	0,05783	0,420	0,024289	0,3700	0,32637	0,868	0,291970	0,8800	0,93202	1,131	1,05410
0,1100	0,05986	0,426	0,025500	0,3800	0,34828	0,879	0,306490	0,8900	0,94014	1,128	1,06030
0,1125	0,06186	0,432	0,026724	0,3900	0,36108	0,891	0,321920	0,9000	0,94796	1,124	1,06550
0,1150	0,06388	0,439	0,028043	0,4000	0,37354	0,902	0,336930	0,9100	0,95541	1,120	1,07010
0,1175	0,05910	0,444	0,029274	0,4100	0,38604	0,913	0,352460	0,9200	0,96252	1,116	1,07420
0,1200	0,06797	0,450	0,030587	0,4200	0,39858	0,921	0,367090	0,9300	0,96922	1,109	1,07490
0,1225	0,07005	0,456	0,031943	0,4300	0,40890	0,934	0,381910	0,9400	0,87544	1,101	1,07410
0,1250	0,07214	0,463	0,033401	0,4400	0,42379	0,943	0,399630	0,9500	0,97130	1,094	1,07435
0,1275	0,07426	0,468	0,034754	0,4500	0,53645	0,955	0,341168	0,9600	0,98658	1,086	1,07140
0,1300	0,07640	0,473	0,036137	0,4600	0,44913	0,964	0,432960	0,9700	0,99126	0,108	1,06560

Fuente: CABRERA RIEPELE, Ricardo Antonio. *Apuntes de Ingeniería Sanitaria 2*. p. 90.

