

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**AMPLIACIÓN DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO  
SANITARIO DEL DISTRITO MOQUEGUA, CENTRO  
POBLADO SAN FRANCISCO – MOQUEGUA**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

Bach. URTEAGA CALDAS ÁNGEL ANTONIO

Bach. SANDOVAL OLIVEIRA TOMMY SANDRO

ASESOR:

Dr. LOPEZ SILVA MAIQUEL

**LIMA – PERÚ 2021**



**DEDICATORIA**

*Dedico esta tesis a mis padres y hermanos, por su apoyo y amor incondicional en todas las etapas de mi vida.*

*Sandoval Oliveira Tommy Sandro*

*Esta tesis está dedicada a toda mi familia que siempre me ha apoyado  
para cumplir esta meta.  
Urteaga Caldas Angel Antonio*

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestra alma máter por habernos formado como profesionales y a nuestros asesores de tesis por habernos guiado durante todo el proceso de investigación.

Sandoval Oliveira Tommy y Urteaga Caldas Angel

# INDICE

AGRADECIMIENTO .....	v
INDICE .....	vi
INDICE DE TABLAS .....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	15
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos .....	2
1.1.1 Problema general .....	4
1.1.2 Problemas específicos.....	4
1.2 Objetivo general y específico .....	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Delimitación de la investigación .....	5
1.3.1 Delimitación temporal .....	5
1.3.2 Delimitación espacial .....	5
1.3.3 Delimitación temática.....	6
1.4 Justificación e importancia .....	6
1.4.1 Justificación .....	6
1.4.2 Importancia.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	9
2.1 Antecedentes del estudio de investigación .....	9
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	9

2.1.2 Antecedentes nacionales.....	10
2.2 Bases teóricas.....	13
2.2.1 Recursos hídricos y aguas residuales .....	13
2.2.2 Sistema de alcantarillado sanitario .....	20
2.2.3 Parámetros de diseño.....	32
2.3 Definición de términos básicos.....	78
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....	80
3.1 Hipótesis .....	80
3.1.1 Hipótesis principal .....	80
3.1.2 Hipótesis secundarias.....	80
3.2 Variables .....	80
3.2.1 Definición conceptual de variables .....	80
3.2.2 Operacionalización de variables.....	81
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO .....	82
4.1 Tipo y nivel.....	82
4.1.1 Tipo de investigación .....	82
4.1.2 Nivel de investigación .....	82
4.2 Diseño de investigación .....	83
4.3 Población y muestra.....	83
4.3.1 Población.....	83
4.3.2 Muestra.....	84
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	84
4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos .....	84
4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	85
4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos .....	86
4.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	87

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	88
5.1 Caracterización de la topografía en el Centro Poblado San Francisco .....	88
5.2 Caudal residual del centro poblado San Francisco .....	93
5.2.1 Número de habitantes .....	93
5.2.2 Análisis de población Futura.....	94
5.2.3 Dotación .....	100
5.2.4 Estimación de caudal medio .....	100
5.2.5 Coeficiente de retorno .....	101
5.2.6 Caudal de infiltración .....	101
5.2.7 Caudal por conexiones erradas, considerando el valor de 10 %.....	103
5.2.8 Caudal de residual.....	104
5.3 Modelación.....	104
5.3.1 Consideraciones para el diseño .....	104
5.3.2 Modelación estática.....	105
5.3.3 Modelación dinámica.....	121
5.4 Análisis de resultados .....	128
5.5 Contrastación de hipótesis.....	134
CONCLUSIONES .....	136
RECOMENDACIONES.....	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	138
ANEXOS.....	141
Anexo 1: Operacionalización de variables .....	141
Anexo 2: Matriz de consistencia.....	144
Anexo 3: Cronograma de actividades .....	147
Anexo 4: Presupuesto de investigación .....	148
Anexo 5: Plano topográfico del centro poblado San Francisco.....	150

Anexo 6: Plano de ampliación de la red de alcantarillado sanitario ..... 151

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Separación máxima entre cámaras de inspección.....	25
Tabla N° 2: Coeficientes de rugosidad de Manning.....	52
Tabla N° 3: Valores de infiltración de tuberías.....	55
Tabla N° 4: Últimos censos INEI .....	97
Tabla N° 5: Comparativa de población proyectada.....	99
Tabla N° 6: Valores de infiltración en tuberías según tipo de unión.....	102
Tabla N° 7: Resultado de análisis de flujo permanente en buzones.....	106
Tabla N° 8: Resultado de análisis de flujo permanente en puntos de empalme ...	109
Tabla N° 9: Resultado de análisis de flujo permanente en colectores .....	110
Tabla N° 10: Comparación de diámetros en empalme de red de alcantarillado ...	113
Tabla N° 11: Resultado de análisis dinámico en buzones .....	122
Tabla N° 12: Resultado del análisis dinámico en el sistema.....	124
Tabla N° 13: Resultado de análisis dinámico en colectores .....	125
Tabla N° 14: Resumen de caudales .....	129
Tabla N° 15: Resumen de elementos de red para propuesta de ampliación .....	129
Tabla N° 16: Resumen de elementos de red propuestos para ampliación .....	130

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Delimitación de zona de estudio.....	6
Figura N° 2: Destino de las extracciones de agua dulce .....	14
Figura N° 3. Disponibilidad hídrica y distribución demográfica en el Perú.....	16
Figura N° 4. Componentes de aguas residuales y sus efectos .....	17
Figura N° 5. Población sin acceso a red pública de alcantarillado .....	20
Figura N° 6: Sistema de alcantarillado convencional y condominial.....	21
Figura N° 7: Componentes de un sistema de alcantarillado sanitario.....	26
Figura N° 8: Conexión domiciliaria.....	27
Figura N° 9: Trazo de alcantarillado en bayoneta Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022 .....	28
Figura N° 10: Trazo de alcantarillado en peine.....	28
Figura N° 11: Trazo de alcantarillado combinado o mixto .....	29
Figura N° 12: Trazo de colectores en modelo perpendicular.....	30
Figura N° 13. Trazo de colectores en modelo radial.....	30
Figura N° 14: Trazo de colectores en modelo interceptores.....	31
Figura N° 15: Trazo de colectores en modelo abanico.....	31
Figura N° 16: Distancia óptica por taquimetría .....	36
Figura N° 17: Desnivel por taquimetría.....	37
Figura N° 18: Estación total TOPCON ES103.....	38
Figura N° 19: Método de levantamiento topográfico por radiación .....	39
Figura N° 20: Método de levantamiento topográfico por intersección -triangulación .....	40
Figura N° 21: Método topográfico por intersección - trilateración.....	41
Figura N° 22: Método de levantamiento topográfico por intersección inversa .....	42
Figura N° 23: Método de levantamiento topográfico por poligonal .....	43

Figura N° 24: Curvas de nivel.....	43
Figura N° 25: Canal trapezoidal.....	46
Figura N° 26: Canal rectangular .....	46
Figura N° 27: Canal triangular .....	47
Figura N° 28: Canal parabólico.....	47
Figura N° 29: Canal circular.....	48
Figura N° 30: Canal herradura.....	48
Figura N° 31: Teorema de Bernolli .....	50
Figura N° 32: Excavación de zanja para colocación de tubería de alcantarillado ...	57
Figura N° 33. Detalle de excavación y relleno de zanja para tubería de alcantarillado .....	59
Figura N° 34. Mapa geología superficial de la ciudad de Moquegua.....	60
Figura N° 35: Zonificación Geotécnica .....	62
Figura N° 36: Partes de un modelo Hidráulico.....	63
Figura N° 37: Modelado de alcantarillado sanitario con SWMM5.....	64
Figura N° 38: Modelado de alcantarillado sanitario con Cloacas.....	66
Figura N° 39: Diseño de alcantarillado sanitario con SewerGEMS .....	67
Figura N° 40: Diseño de alcantarillado sanitario con SewerCad .....	70
Figura N° 41: Caracterización de métodos de solución hidráulica alcantarillado ....	78
Figura N° 42: Diagrama de flujo de procedimiento para recolección de datos .....	86
Figura N° 43: Topografía de la zona de investigación .....	89
Figura N° 44: Leyenda de pendientes de la zona de investigación.....	90
Figura N° 45: Pendientes de la zona de investigación.....	91
Figura N° 46: Calles de la zona de investigación.....	92
Figura N° 47. Sombreado en azul de la zona en expansión del centro poblado ....	93
Figura N° 48. Valores límites de velocidad .....	105
Figura N° 49: Esquema de perfiles graficados .....	114

Figura N° 50: Perfil 1 - Colectores .....	115
Figura N° 51: Perfil 2 - Colectores .....	116
Figura N° 52: Perfil 3 - Colectores .....	117
Figura N° 53: Perfil 3 – Colectores .....	118
Figura N° 54: Perfil 5 - Colectores .....	119
Figura N° 55: Perfil 6 - Colectores .....	120
Figura N° 56. hidrograma de consumo para $k_2=2$ .....	121
Figura N° 57. Captura de pantalla de modelamiento ingreso de hidrograma .....	121
Figura N° 58. Captura de pantalla de modelamiento en periodo extendido.....	122
Figura N° 59: Pendientes en modelo digital de terreno (DEM) .....	128
Figura N° 60: Tubería PVC-UF S-25x6m D=160mm .....	130
Figura N° 61: Esquema de excavación de zanja para tuberías PVC de alcantarillado .....	131
Figura N° 62: Buzón de alcantarillado prefabricado .....	131
Figura N° 63: Caja de registro para conexión domiciliaria de desagüe .....	131
Figura N° 64: Conexiones domiciliarias de desagüe .....	132
Figura N° 65: Conexiones a buzón .....	133

# RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo el diseño de la ampliación del sistema de alcantarillado sanitario del centro poblado San Francisco, ubicado en el distrito de Moquegua, departamento de Moquegua. Se caracterizó la topografía de la zona de investigación mediante el uso del software Civil 3D 2022, ArcGIS 10.8 y la hidroinformática. Se estimó la población futura a partir de los métodos de las normas peruana, española, boliviana y curva logística, consecuentemente los caudales residuales generados como caudal máximo horario y diario, caudal de infiltración y finalmente el caudal de diseño del centro poblado. Se realizó la modelación de la red de alcantarillado sanitario empleando el software SewerCad 10.01.00.70 mediante un análisis hidráulico de flujo permanente y de periodo extendido, donde se verificó el cumplimiento de la norma técnica OS.070 (2006) "Redes de aguas residuales" del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

Se obtuvo como resultado una topografía accidentada debido a que la zona de investigación se ubica en la cima de un cerro con valores de pendiente variables desde 0% hasta 80%, la población proyectada para un periodo de 20 años fue de 1090 habitantes, que generan un caudal residual de 2.42 L/s. Se comprobó que las velocidades de flujo se encuentran en un rango entre 0.6 m/s a 1.66 m/s, los cuales cumplen con la normativa técnica al realizar el análisis de periodo extendido mediante el software SewerCad, donde el caudal máximo obtenido fue de 4.55 L/s. Los resultados de la modelación permitieron identificar el uso de 2503.94 ml de tuberías de 160 mm de diámetro nominal para los colectores, así como 52 buzones de 1200 mm de diámetro para profundidades menores a 3m y 15 buzones de 1500 mm de diámetro para profundidades mayores a 3 m.

**Palabras clave:** Modelamiento hidráulico, topografía, caudal residual

# ABSTRACT

The objective of this thesis was to design the expansion of the sanitary sewer system of the San Francisco town center, located in the district of Moquegua, department of Moquegua. The topography of the research area was characterized using Civil 3D 2022 software, ArcGIS 10.8 and hydroinformatics. The future population is estimated from the methods of the Peruvian, Spanish, Bolivian standards and the logistic curve, consequently the residual flows generated as maximum hourly and daily flow, infiltration flow and finally the design flow of the town center. The sanitary sewer network was modeled using the SewerCad 10.01.00.70 software through a permanent flow and extended period hydraulic analysis, where compliance with the technical standard OS.070 (2006) "Wastewater networks" was verified. of the National Building Regulations (RNE).

The result was a rugged topography because the research area is located on the top of a hill with variable slope values from 0% to 80%, the projected population for a period of 25 years was 925 inhabitants, which generate a residual flow of 2.42 L/s. It was found that the flow velocities are in a range between 0.6 m/s to 1.66 m/s, which comply with the technical regulations when performing the extended period analysis using the SewerCad software, where the maximum flow obtained was 4.55 L/s. The results of the modeling allowed the identification of the use of 2503.94 ml of 160 mm nominal diameter pipe for the collectors, as well as 52 mailboxes of 1200 mm diameter for depths less than 3m and 15 mailboxes of 1500 mm diameter for depths greater than 3 m.

**Keywords:** Hydraulic modeling, topography, wastewater flow

# INTRODUCCIÓN

El centro poblado San Francisco del distrito de Moquegua se encuentra en expansión siendo uno de los problemas el manejo de las aguas residuales ya que no solo contaminan a las aguas salubres sino también su mal manejo afecta la salud de las personas, provocando enfermedades. El objetivo principal es realizar el diseño de la ampliación del sistema de red de alcantarillado sanitario para centro poblado san francisco.

En el capítulo I se plantea el problema, así como también se direccionan los objetivos generales y específicos, estos son imprescindibles ya que indican lo que se espera de la investigación y definen la forma en que se alcanza el resultado, además se delimita la investigación y se justifica su importancia.

En el capítulo II se presenta el marco teórico esbozando los antecedentes internacionales y nacionales, así como también las bases teóricas según NTP OS.070 estas últimas sirven como plataforma sobre la cual se construye el análisis de los resultados obtenidos.

En el capítulo III se plantea la hipótesis principal e hipótesis secundaria, además de las variables de la investigación.

En el capítulo IV exponemos la metodología de estudio esto es importante ya que les otorga validez y rigor científico a los resultados obtenidos, se describen el tipo de investigación, así como también el diseño de la investigación.

En el capítulo V se presentan y analizan los resultados dentro de los cuales tenemos, la caracterización de la topografía, el caudal residual así también la modelación en el software SewerCad, de este modo se procesa toda la información que se ha ido obteniendo en la investigación de tal forma que nos encamina a las conclusiones.

Finalmente se presentan conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos**

Según la Organización Mundial de la Salud (2019) el 68% de la población mundial (5000 millones de personas) utilizaba al menos un servicio básico de saneamiento en el año 2015, pero hasta la fecha 2300 millones de personas todavía siguen sin tener instalaciones de saneamiento básicas como inodoros o letrinas que no estén compartidas con otras familias. De ellas, 892 millones todavía defecan al aire libre, por ejemplo, en alcantarillas, detrás de arbustos o en masas abiertas de agua. Se estima que al menos el 10% de la población mundial consume alimentos regados con aguas residuales. Un saneamiento deficiente va asociado a la transmisión de enfermedades como el cólera, la diarrea, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis, y agrava el retraso del crecimiento. Se estima que el saneamiento deficiente es la causa de 280 000 muertes por diarrea cada año y que es un importante factor subyacente a varias enfermedades tropicales desatendidas, como las lombrices intestinales, la esquistosomiasis y el tracoma. Las malas condiciones de saneamiento también contribuyen a la malnutrición.

En Perú, la principal preocupación y prioridad de las autoridades gubernamentales es la de abastecer de agua potable a la población, dejando muchas veces de lado la adecuada importancia del sistema de alcantarillado sanitario. Éste es un servicio básico de la población, por lo que se debe garantizar el adecuado diseño, funcionamiento y cobertura del mismo.

Según el diario Gestión (2019) el 25.8% de la población nacional no cuenta con red pública de alcantarillado. La falta de este servicio afecta a 8.3 millones de peruanos, de los cuales 2.4 millones pertenecen a zona urbana y 5.9 millones a zona rural.

Según la información proporcionada por INEI y recopilada por REUNIS MINSA (2021), el departamento de Moquegua tiene en total 195'334 habitantes representando el 0.59% de la población total de la nación. La provincia de

Mariscal Nieto cuenta con 97'035 habitantes, representando el 49.68% del departamento de Moquegua. Y a su vez, el distrito de Moquegua cuenta con 75'825 habitantes que representa el 78.14% de la población de la provincia de Mariscal Nieto.

La presente tesis tiene como zona de investigación el centro poblado San Francisco, ubicado en el distrito Moquegua, provincia Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. En los últimos 10 años el casco urbano creció, se incrementaron las construcciones de viviendas por el aumento de habitantes en zonas que no fueron consideradas en la etapa de diseño de las redes de alcantarillado. Es por ello que el actual sistema de alcantarillado sanitario no tiene la cobertura necesaria para satisfacer la demanda de la totalidad de la población. Se propondrá el diseño de la ampliación del sistema de alcantarillado sanitario abasteciendo de aquel servicio básico a la población para su beneficio y desarrollo. Se empleará el software de modelamiento hidráulico SewerCad realizando simulaciones del comportamiento del flujo de las redes de alcantarillado sanitario.

Hasta la actualidad no se han encontrado proyectos, investigaciones científicas o artículos que contribuyan a resolver el problema del alcantarillado en el centro poblado san francisco.

### **1.1.1 Problema general**

¿Cómo realizar la ampliación del sistema de alcantarillado sanitario del distrito Moquegua, centro poblado San Francisco – Moquegua?

### **1.1.2 Problemas específicos**

1. ¿Cuáles son las características topográficas del centro poblado sanfrancisco?
2. ¿Cuál es el caudal residual del centro poblado san francisco?
3. ¿Cómo analizar la red hidráulica ampliada del sistema de alcantarilladosanitario?

## **1.2 Objetivo general y específico**

### **1.2.1 Objetivo general**

Realizar la ampliación del sistema de red de alcantarillado sanitario del distrito Moquegua, centro poblado San Francisco – Moquegua.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

1. Caracterizar el levantamiento topográfico del Centro Poblado San Francisco.
2. Obtener el caudal residual del Centro Poblado San Francisco.
3. Analizar la modelación de la red hidráulica ampliada del sistema de alcantarillado sanitario.

## **1.3 Delimitación de la investigación**

### **1.3.1 Delimitación temporal**

El periodo de investigación del estudio se realizará en un plazo de 6 meses, desde junio hasta noviembre del año 2021 (ver Anexo 01: Cronograma de actividades), debido a que se cuenta con los datos necesarios para llevar a cabo la propuesta de proyecto.

### **1.3.2 Delimitación espacial**

Coordenadas latitud sur  $17^{\circ}11'41''S$ ; latitud oeste  $70^{\circ}56'45''O$ .

Distrito : Moquegua

Provincia : Mariscal Nieto

Departamento : Moquegua

En la Figura N° 1 se observa la delimitación de la zona de estudio.

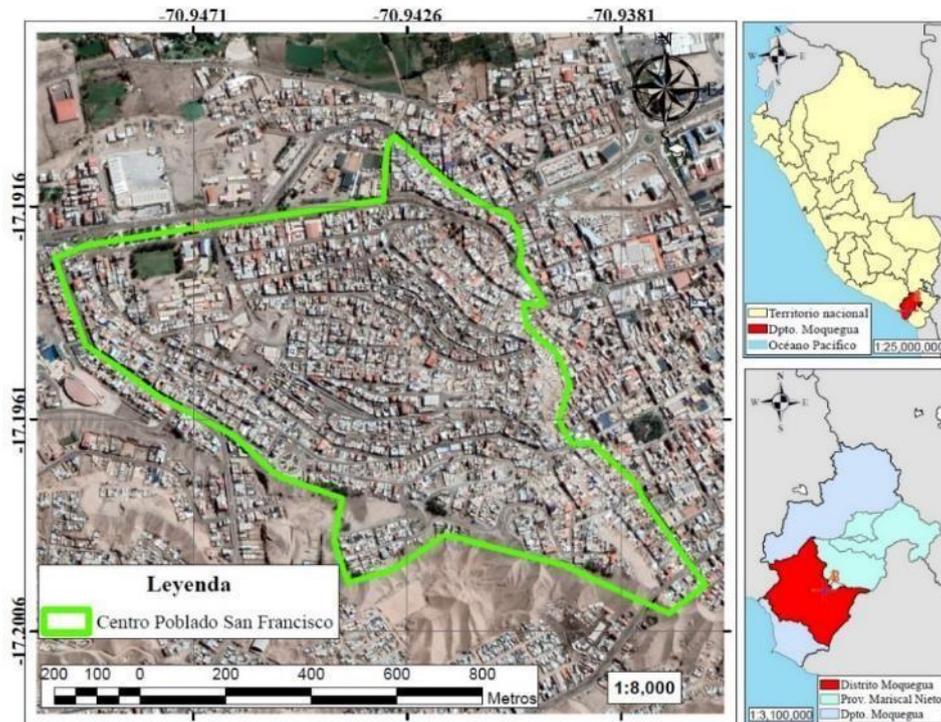


Figura N° 1: Delimitación de zona de estudio

Fuente: Elaboración propia usando ArcGIS 10.8

### 1.3.3 Delimitación temática

La investigación está enfocada en la especialidad de hidráulica de tal manera que se investiga la ampliación de la red de alcantarillado del centro poblado san Francisco.

## 1.4 Justificación e importancia

### 1.4.1 Justificación

La presente tesis surge ante la necesidad de ampliar el sistema de red de alcantarillado sanitario del distrito Moquegua, centro poblado San Francisco

– Moquegua. El crecimiento del casco urbano junto con su población debe ser correctamente atendido, se tiene que brindar el servicio de alcantarillado sanitario para mejorar su calidad de vida. Se propone el

uso del software SewerCad para el modelamiento y simulación hidráulica de la red de alcantarillado, con la finalidad de optimizar el procedimiento de análisis teniendo cálculos y resultados exactos mediante simulaciones que se aproximen a la realidad.

a) Justificación práctica

La presente investigación permite materializar los conceptos y optimizar los recursos, debido a que se obtiene de acuerdo a la topografía un punto de descarga para un posterior tratamiento de las aguas residuales, así como también los caudales máximos y las velocidades admisibles para obtener las especificaciones de la tubería a emplear, con su diámetro y longitud.

Se realiza un nuevo diseño de alcantarillado de acuerdo con las necesidades de la población además se proyecta una población futura.

b) Justificación social

La investigación contempla una propuesta de ampliación y mejoramiento del sistema de alcantarillado sanitario existente lo que favorece a la población a su vez mejora la calidad de vida, se proyecta la ampliación de la red existente a aproximadamente 500 personas las que se encuentran en la zona alta del centro poblado.

La ausencia de un sistema de alcantarillado va asociado a la transmisión de enfermedades como el cólera, la diarrea, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis, y agrava el retraso del crecimiento.

c) Justificación ambiental

Es de conocimiento general que la falta de un sistema de alcantarillado sanitario conlleva a la contaminación del ambiente debido a que los residuos no tienen donde evacuarse.

El agua estancada por la no evacuación de los residuos es potencialmente un “caldo de cultivo” para la aparición de plagas

como Las cucarachas, moscas y otros insectos buscan fuentes de humedad siempre que sea posible, ya que prefieren los ambientes húmedos.

Las prácticas defectuosas de eliminación de excrementos dan como resultado que microorganismos patógenos expulsados por el hombre en sus excrementos contaminen los suelos de cultivo que están en la zona.

#### **1.4.2 Importancia**

El propósito de la presente investigación es proponer un diseño de ampliación del sistema de red de alcantarillado sanitario del distrito Moquegua, centro poblado San Francisco – Moquegua. Debido a que el sistema actual no tiene la cobertura necesaria para abastecer a la población. La investigación mejora las condiciones de la población ya que la ausencia de alcantarillado conlleva enfermedades y plagas además que nos permite desarrollar los conceptos de topografía, caudales máximos y así obtener la tubería a emplear. Se emplea una metodología. Es importante mencionar que la investigación sirve como consulta y referencia en futuras investigaciones.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes del estudio de investigación**

#### **2.1.1 Antecedentes internacionales**

Ramírez (2016), realizó una investigación para optar el título profesional de ingeniero civil “Estudio y diagnóstico de la red de alcantarillado sanitario y pluvial para el proceso de densificación de un sector del centro de Bogotá” en la Universidad Católica de Colombia. El objetivo principal fue evaluar el desempeño del sistema de alcantarillado sanitario en el centro de la ciudad Bogotá con la población inicial y futura debido al proceso de densificación por el rápido aumento de la población, con el propósito de hacer recomendaciones de mejoras al servicio de infraestructura. Trabajó con una metodología de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y nivel descriptivo, así como un tipo de investigación no experimental con diseño transversal. Se empleó el software de modelamiento hidráulico EPA SWMM para realizar el análisis de la red de alcantarillado.

De esta investigación se concluyó que es válido utilizar los softwares de modelamiento de redes de alcantarillado sanitario para realizar el análisis de su comportamiento hidráulico. Sin embargo, es importante resaltar que el criterio profesional siempre debe estar presente, ya que los softwares no brindan en su totalidad recomendaciones de mejoras tales como el diámetro, material, trazo adecuado y mantenimiento periódico de las redes de alcantarillado.

Sanz et al. (2016), realizaron una tesis titulada “Diseño de la ampliación de la red de agua potable y sistema de alcantarillado para la zona alta del barrio alto Jordán, comuna 18” desarrollada en la Pontificia Universidad Javeriana de Colombia. El objetivo principal fue realizar un diseño para ampliar la red de agua potable y alcantarillado para la zona alta del barrio alto Jordán, comuna 18. Trabajaron con una metodología de investigación no experimental con diseño transversal, Con base en

la recolección de la información se planteó el diagnóstico del problema de abastecimiento y de desagüe domiciliario. Con esto se determinó la ampliación de las redes, dando importancia a la situación de ordenamiento territorial de la zona y la microzonificación sísmica. El diagnóstico permitió definir puntualmente la problemática y la localización de los puntos más críticos. Se concluyó que el diseño de la red necesitó un aumento de presión en el sistema de acueducto para suplir las necesidades de los habitantes de la zona más alta, esto, a pesar de estar dentro de la cota de servicio de la empresa prestadora de servicios. La explicación a esta incongruencia, radica en que las conexiones ilegales son tan significativas que reducen la presión en la red, y en consiguiente, reducen la cota de servicio, a su vez se logró desarrollar un sistema de agua potable y alcantarillado, conectado a la red existente.

La presente tesis presenta relevancia para nuestra investigación debido a que nos brindara referencia del análisis inicial de las condiciones de un sistema de alcantarillado, aunque esta no emplea el software de modelación.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Lizárraga (2020), realizó una tesis titulada “Diseño del sistema de alcantarillado de los sectores Chanquin y la Cobranza del Distrito de Moche –Trujillo - La Libertad” desarrollada en la Universidad Cesar Vallejo de Trujillo. Se Trabajó con una metodología de investigación no experimental con diseño transversal. El objetivo general fue realizar un diseño para los sectores Chanquin y la Cobranza. La población beneficiaria evacuó sus desagües en pozos ciegos o por los alrededores, la cual trajo pestilencia e insectos como el mosquito, zancudo, cucarachas, ratas y otros. Problema que constituyó un riesgo ambiental y para la salud de los moradores de la localidad, por estar a expensas de ser víctimas de cualquier brote de enfermedades infectocontagiosas por la inexistencia de este servicio de saneamiento básico. Se concluyó que el sistema de alcantarillado para los sectores de Chanquín y la

Cobranza considerando según metrados de 4408.85ml de tubería PVC para 113 familias que habitan en la actualidad, así como también se consideró 155 buzones con profundidades menores a 3.56 metros y 104 conexiones domiciliarias con tubería PVC S20 DN 160 mm.

La presente tesis presenta relevancia para nuestra investigación debido a que menciona la importancia que tiene una tesis similar para combatir el riesgo ambiental. Sin embargo, no contempla una planta de tratamiento.

Almestar et al. (2019), realizaron una tesis titulada “Mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de puerto Eten, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque” desarrollada en la Universidad Católica Santo Domingo de Mogrovejo de Lambayeque. El objetivo general fue realizar un diseño para mejorar y ampliar la red de agua potable y alcantarillado para el distrito de puerto Eten, provincia de Chiclayo. Trabajaron con una metodología de investigación no experimental con diseño transversal, el distrito estudiado presentó discontinuidad en el suministro de agua potable, mientras que, en el alcantarillado, algunos buzones colapsaron por la colmatación que no permitieron la evacuación adecuada de las aguas residuales hacia una laguna natural sin ningún tipo de tratamiento. Se concluyó que fue necesario la ampliación de la red de alcantarillado para el periodo de diseño, obteniéndose diámetros de 8”, 10” y 12”.

La presente tesis presenta relevancia para nuestra investigación debido a que nos proporcionara la metodología que se debe emplear en una tesis similar.

Rodríguez (2019), realizó una investigación titulada “Modelamiento hidráulico para el mejoramiento del sistema de alcantarillado en los distritos de Callao, Ventanilla y San Martín de Porres” para optar el título profesional de ingeniero civil en la Universidad Nacional Federico Villarreal. El principal objetivo de la investigación fue plantear la mejora del sistema de alcantarillado sanitario empleando el software SewerCad para el modelamiento y simulación hidráulica de la investigación. Trabajó

con una metodología de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y nivel descriptivo; la investigación fue de tipo no experimental con diseño transversal. Tuvo como resultado principal que varios tramos del sistema de alcantarillado se encontraban obstruidos impidiendo el flujo adecuado de los desagües de la localidad. Llegó a la conclusión que es necesario la implementación de un colector principal que reciba el caudal de los colectores existentes y evitar la acumulación de desagües, así como programar mantenimientos al sistema de alcantarillado, garantizando su adecuado funcionamiento y preservación.

De la investigación realizada se concluyó que los softwares de modelamiento hidráulico para alcantarillado sanitario son precisos y confiables en su cálculo, indicando incluso qué zonas presentan obstrucciones, así como el caudal de cada elemento de la red. Pero a pesar de toda la ventaja otorgada por los softwares, se debe mencionar la importancia del criterio del profesional responsable al momento de realizar el modelado y brindar las recomendaciones de mejora. Se mencionó en la investigación las zonas que requieren de mantenimiento, más no el intervalo de tiempo para realizarlos.

Flores (2016), realizó una investigación titulada “Evaluación y propuesta de mejoramiento del sistema de alcantarillado sanitario de las asociaciones pro vivienda 28 de julio, Kantu, Villa Mercedes y Vista Alegre – Cusco” para optar el título profesional de ingeniero civil en la Universidad Andina del Cusco. El principal objetivo de la investigación fue evaluar el sistema de alcantarillado sanitario y verificar el cumplimiento de la demanda poblacional. Trabajó con una metodología de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y nivel descriptivo; el tipo de investigación fue no experimental con diseño transversal. Usó el software SewerCad para realizar el análisis hidráulico de la red de alcantarillado sanitario y tuvo como principales resultados que los caudales del flujo de aguas residuales eran mucho mayores que la capacidad del sistema de alcantarillado sanitario, siendo los principales motivos la antigüedad del sistema de alcantarillado y la ausencia de un sistema de desfogue de aguas pluviales en las viviendas de la zona de

estudio, donde el volumen de precipitaciones se dirige directamente al sistema de alcantarillado sanitario y sobrepasan el volumen de flujo permitido, ocasionando el colapso del sistema y aniegos en consecuencia.

Se concluyó que se debe respetar el tiempo de vida útil de los sistemas de alcantarillado sanitario y proponer proyectos de mejoramiento y/o ampliación de los mismos, considerando las características actualizadas de cada zona en beneficio de la población. Se tiene que precisar la importancia de las aguas pluviales en el análisis hidráulico y aclarar si el sistema de alcantarillado sanitario incluirá ese caudal en su diseño o serán sistemas separados.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Recursos hídricos y aguas residuales**

#### **a) Recursos hídricos**

##### **- Disponibilidad hídrica a nivel mundial**

UNESCO (2017) Los recursos hídricos (aguas superficiales y subterráneas) se renuevan en el ciclo continuo de evaporación, precipitación y escorrentía. El ciclo del agua es impulsado por fuerzas mundiales y climáticas que introducen variabilidad en la precipitación y la evaporación, lo que a su vez define los patrones de escorrentía y de disponibilidad de agua en el espacio y el tiempo (modulados por almacenamiento natural y artificial). Las observaciones durante las últimas décadas y las proyecciones de los escenarios de cambio climático apuntan hacia una exacerbación de las variaciones espaciales y temporales de la dinámica del ciclo del agua (IPCC, 2013). Como resultado, las discrepancias en el suministro y la demanda de agua se agravan cada vez más. En estudios recientes se ha demostrado que dos tercios de la población mundial vive actualmente en zonas con escasez de agua durante al menos un mes al año. Cabe destacar que alrededor del 50% de las personas que enfrentan este nivel de escasez de agua

vive en China e India. Esta evaluación mensual de la escasez de agua es esencial, ya que el estrés hídrico como consecuencia de períodos secos puede estar enmascarado con los promedios anuales de disponibilidad de agua

UNESCO (2017) Alrededor de 500 millones de personas viven en zonas donde el consumo de agua supera los recursos hídricos renovables locales en una relación de dos a uno (Mekonnen and Hoekstra, 2016). Esto incluye partes de la India, China, la región mediterránea y Oriente Medio, Asia Central, partes áridas de África subsahariana, Australia, el centro y oeste de América del Sur y el centro y oeste de América del Norte. Algunas zonas donde los recursos no renovables (esto es, las aguas subterráneas fósiles, nunca una fuente sostenible) continúan disminuyendo, se han vuelto extremadamente vulnerables y dependen de las transferencias de agua de áreas con abundante agua. El nivel de tratamiento de aguas residuales industriales y municipales de un país es generalmente un reflejo de su nivel de ingresos. En promedio, los países de ingresos altos tratan cerca del 70% de las aguas residuales que generan, mientras que esa proporción cae al 38% en los países de ingresos medios-altos y al 28% en los países de ingresos medios-bajos. En países de bajos ingresos, solo el 8% de las aguas residuales industriales y municipales se someten a algún tipo de tratamiento (Sato et al., 2013). Esto exacerba la situación de los pobres, en particular en los barrios marginales, que a menudo están expuestos directamente a las aguas residuales debido a la falta de servicios de saneamiento y agua.

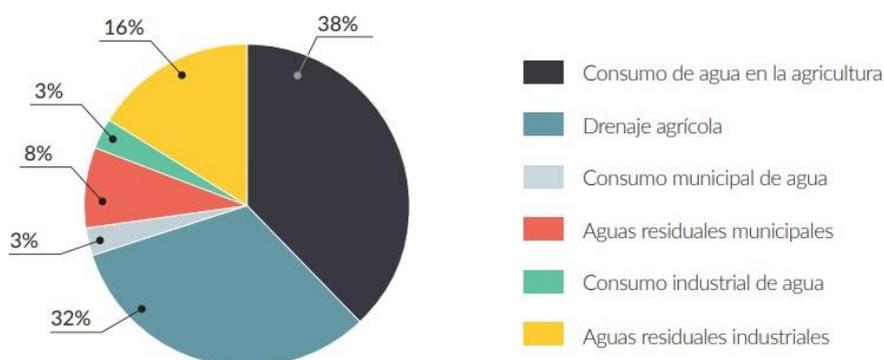


Figura N° 2: Destino de las extracciones de agua dulce

Fuente: UNESCO (2017)

- Disponibilidad hídrica en el Perú

Burstein (2018) La costa desértica del Perú concentra al 70 % de la población y sólo cuenta con 2 % de disponibilidad hídrica. Lima, la ciudad capital de alrededor de diez millones de habitantes es la segunda ciudad más grande del mundo ubicada en un desierto (la primera es El Cairo). La vertiente oriental, donde se ubica la cuenca amazónica, concentra el 97,4 % del recurso hídrico pero la población es poca, en su mayoría rural, con asentamientos dispersos por lo general.

A este problema de distribución demográfica, se suma la distribución del uso del agua, el 80 % del recurso es utilizado en las actividades agrarias que se desarrollan sobre todo en la costa, lo que genera un grave problema de estrés hídrico, exacerbado por la selección de cultivos de agroexportación como el arroz en la costa norte o el espárrago en la costa central y sur que requieren de grandes cantidades de agua.

Esta fuerte demanda de agua para cultivos de exportación en zonas áridas no solo tiene como consecuencia la escasez del agua superficial sino que se ha venido sobreexplotando las reservas de agua subterránea, lo que tiene como consecuencia la intrusión de agua de mar en los acuíferos con su consecuente salinización y, por lo tanto, avance de la desertificación. A estos impactos se suma el uso de fertilizantes y pesticidas que contaminan las aguas y los suelos con nitratos.

Estas condiciones ponen en riesgo a la seguridad alimentaria entendida como el «acceso de la población a alimentos suficientes y de calidad, que les permita desarrollar una vida activa y saludable dentro de una concepción de desarrollo humano integral» (9) ya que la disponibilidad de alimentos depende en gran medida por la disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuadas

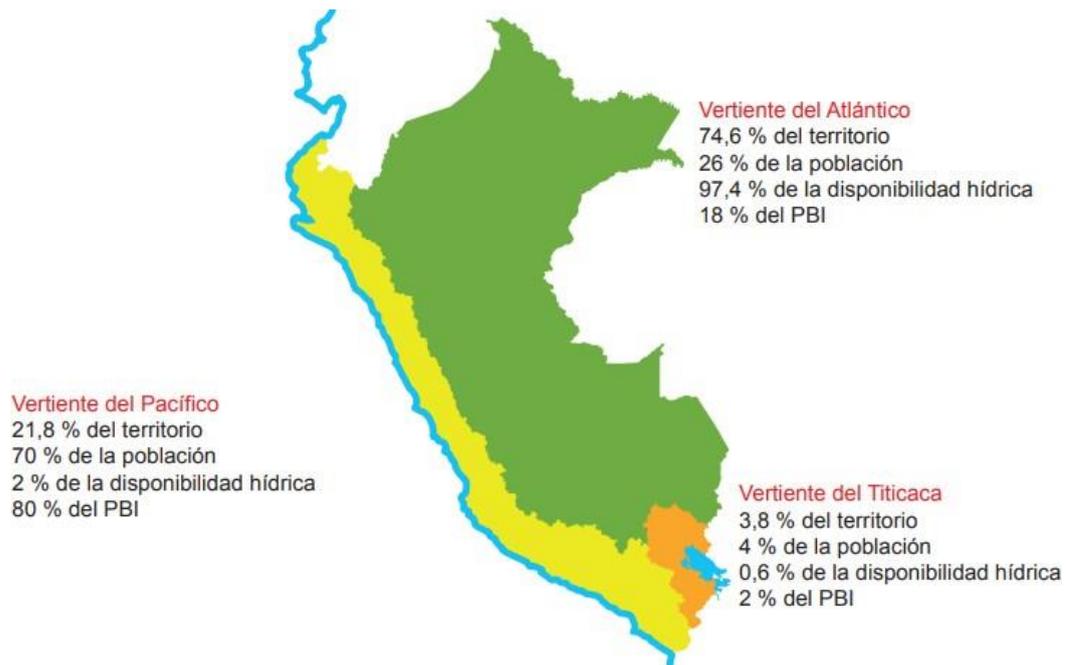


Figura N° 3. Disponibilidad hídrica y distribución demográfica en el Perú

Fuente: Burstein (2018)

Aguas residuales

- Fuentes y componentes de aguas residuales

UNESCO (2017) Existe una estadística frecuentemente citada de que las aguas residuales están compuestas aproximadamente en un 99% de agua y en un 1% de sólidos en suspensión, coloidales y disueltos (ver, por ejemplo, ONU-Agua, 2015a). Aunque la composición exacta de las aguas residuales varía, obviamente, según las diferentes fuentes y a lo largo del tiempo, el agua sigue siendo, sin duda, su principal componente. Las distintas fuentes de aguas residuales pueden presentar otros tipos de componentes en concentraciones variables.

UNESCO (2017) Es probable que las aguas residuales domésticas y municipales contengan altas cargas bacterianas, si bien la mayoría de las bacterias presentes en las heces humanas no son inherentemente patógenas. No obstante, cuando se produce una infección, un gran número

de microorganismos patógenos (como bacterias, virus, protozoos y helmintos) se propagan en el medio ambiente a través de las heces. La eliminación de patógenos es a menudo el objetivo principal de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con el fin de reducir la carga de la enfermedad

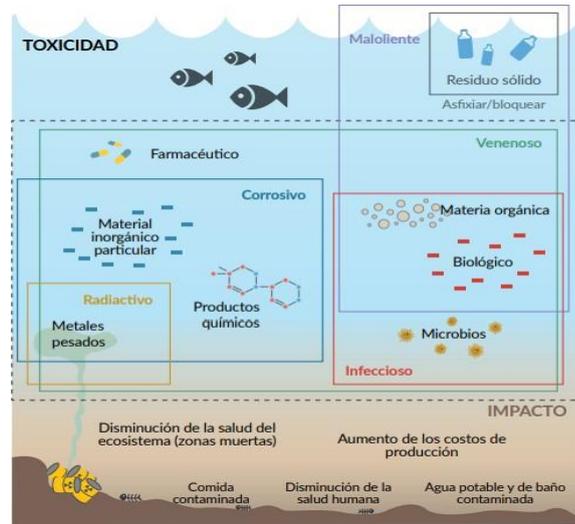


Figura N° 4. Componentes de aguas residuales y sus efectos

Fuente: UNESCO (2017)

- Consecuencia de vertido de aguas residuales no tratadas

UNESCO (2017) El vertido de aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas en el medio ambiente provoca la contaminación de las aguas superficiales, el suelo y las aguas subterráneas. Una vez vertidas en las masas de agua, las aguas residuales se diluyen y son transportadas aguas abajo, o se infiltran en los acuíferos, donde pueden afectar la calidad (y, por lo tanto, la disponibilidad) de los suministros de agua dulce. El destino final de las aguas residuales vertidas en ríos y lagos es, a menudo, el océano.

- Efectos para la salud humana

OMS (2007) Las enfermedades asociadas al saneamiento y aguas residuales siguen siendo comunes en los países donde la cobertura de estos servicios es baja, donde el uso informal de aguas residuales no tratadas para la producción de alimentos es alto y donde la dependencia del agua superficial contaminada para consumo y uso recreativo es habitual. Se estima que en 2012 842.000 muertes en países de ingresos medios y bajos fueron causadas por agua potable contaminada, instalaciones para el lavado de manos y servicios de saneamiento

- Efectos ambientales

UNESCO (2017) El vertido de aguas residuales no tratadas en el medio ambiente tiene un impacto en la calidad del agua que, a su vez, afecta la cantidad de recursos hídricos disponibles para uso directo. Las preocupaciones por la calidad del agua están aumentando como una dimensión importante de la seguridad del agua en todo el mundo.

UNESCO (2017) Desde 1990, la contaminación del agua ha aumentado en la mayoría de los ríos de África, Asia y América Latina, debido a la creciente cantidad de aguas residuales como resultado del crecimiento demográfico, el aumento de la actividad económica y la expansión de la agricultura, así como el vertido de aguas residuales sin tratamiento.

UNESCO (2017) La gestión inadecuada de las aguas residuales también tiene un impacto directo en los ecosistemas y los servicios que prestan. La eutrofización, impulsada por el exceso de nitrógeno y fósforo, puede provocar floraciones de algas potencialmente tóxicas y disminución de la biodiversidad. El vertido de aguas residuales sin tratar en mares y océanos explica en parte por qué cada vez son más las zonas muertas desoxigenadas: se estima que 245.000 km<sup>2</sup> de ecosistemas marinos están afectados, con repercusiones en la industria pesquera, medios de vida y cadenas alimenticias.

- Cobertura del sistema de alcantarillado en el Perú

INEI (2018) El acceso al saneamiento básico comprende seguridad y privacidad en el uso de estos servicios. La cobertura se refiere al porcentaje de personas que utilizan mejores servicios de saneamiento, a saber: conexión a alcantarillas públicas; conexión a sistemas sépticos; letrina entre otros.

En el año 2017, el 72,8% de la población reside en viviendas que tienen el servicio de desagüe por red pública, donde el 69,0% tienen red pública dentro de la vivienda y el 3,9% fuera de la vivienda, pero dentro de la edificación. En tanto, el 27,2% de la población reside en viviendas que no tienen sistema de alcantarilla por red pública y el 9,6% eliminan las excretas a través de pozo ciego o negro, el 6,1% por pozo séptico, el 1,9% por letrina, el 1,2% por río o acequia y el 8,4% no tienen ningún tipo de eliminación de excretas. Según área de residencia, en el área urbana el 88,7% de la población reside en viviendas con servicio de desagüe por red pública (84,0% dentro de la vivienda); en tanto en el área rural el 17,5% de la población reside en viviendas que tiene red pública de alcantarillado (16,8% dentro de la vivienda).

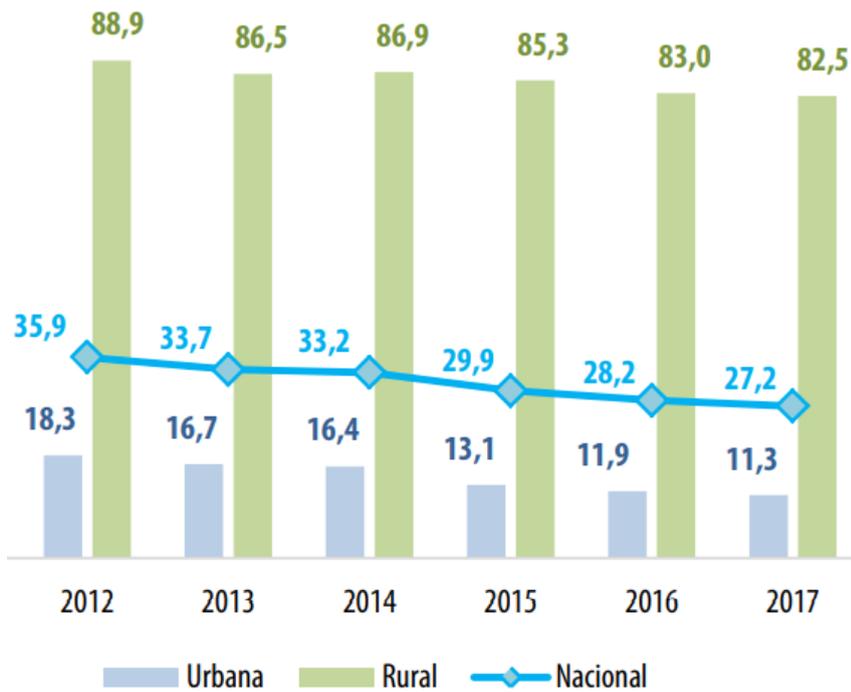


Figura N° 5. Población sin acceso a red pública de alcantarillado

Fuente: INEI (2018)

### 2.2.2 Sistema de alcantarillado sanitario

Según Cerquín (2009) es una forma de transporte, manejo y evacuación de aguas residuales hasta un punto de descarga natural o una planta de tratamiento, donde se filtrarán las partículas sólidas contenidas en el fluido para luego transportarse hasta un cuerpo de agua natural, evitando dañar el medio ambiente.

Cabe resaltar que la topografía juega un importante papel, porque los sistemas de alcantarillado sanitario trabajan por gravedad y es necesario conocer las alturas del terreno del proyecto para colocar las tuberías con la pendiente adecuada.

#### a) Sistema de alcantarillado sanitario condominal

Según RNE OS.070 (2009) es el sistema de abastecimiento de alcantarillado que considera al condominio como unidad de atención del servicio, siendo éste un conjunto de lotes perteneciente a una o más manzanas.

## b) Sistema de alcantarillado sanitario convencional

Según Leiva (2015) es el sistema de alcantarillado más popular utilizado para la evacuación de los caudales residuales. Consiste en redes colectoras ubicadas generalmente de forma alineada al eje de las calles e instaladas con pendiente a favor de la gravedad, donde las conexiones domiciliarias se realizan directamente a ellas.

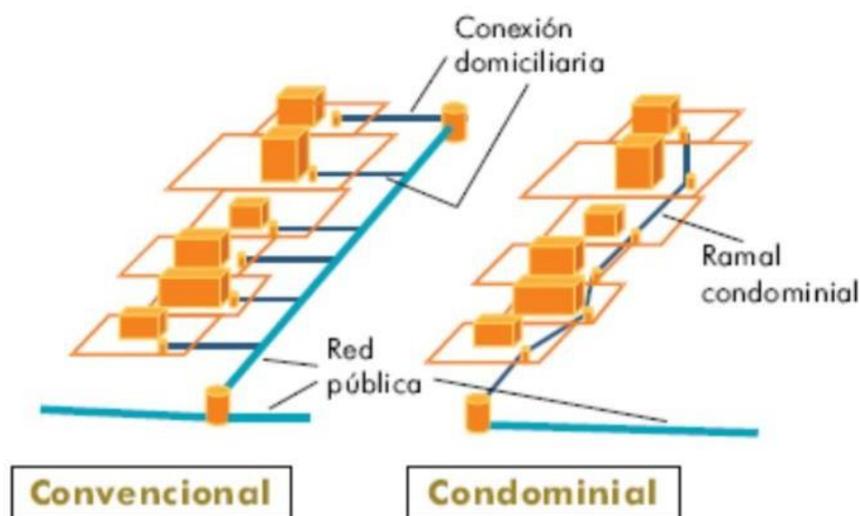


Figura N° 6: Sistema de alcantarillado convencional y condominial

Fuente: Ortiz (2014)

## c) Componentes del sistema de alcantarillado sanitario

Según el Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2021), se tienen los principales componentes de un sistema de alcantarillado sanitario:

### Conexión domiciliaria

Recoge las aguas residuales del interior de las viviendas producidas por los servicios higiénicos, cocina, lavandería, otros y las conduce a la red colectora. Se ubica en el frontis de las viviendas y está conformada por la caja de registro y la conexión a la red pública de alcantarillado.

### Red de colectores

Transporta el agua residual proveniente de las viviendas (conexiones domiciliarias) o construcciones en general y servicios públicos. Conformada por la red de tuberías ubicadas en las calles, de diferentes diámetros y conectada por buzones.

Según la norma técnica OS 0.70 Redes de aguas residuales (2009), se tienen las siguientes condiciones respecto a los diámetros, pendiente, velocidad de flujo y ubicación de los colectores:

- Los diámetros nominales de las tuberías no deben ser menores de 100 mm. Las tuberías principales que recolectan las aguas residuales de un ramal colector tendrán como diámetro mínimo 160 mm.
- En todos los tramos de la red deben ser calculados los caudales inicial y final ( $Q_i$  y  $Q_f$ ). El valor mínimo del caudal a considerar será de 1,5L /s.
- Cada tramo debe ser verificado por el criterio de Tensión Tractiva Media ( $\sigma_t$ ) con un valor mínimo  $\sigma_t = 1.00$  Pa, calculada para el caudal inicial ( $Q_i$ ), valor correspondiente para un coeficiente de Manning  $n = 0,013$ . La pendiente mínima que satisface esta condición puede ser determinada por la siguiente expresión aproximada:

$$S_{\text{min}} = 0.0055 * Q_i^{-0.47}$$

Donde:

$S_{\text{min}}$ : Pendiente mínima (m/m)

$Q_i$ : Caudal inicial (l/s)

Para coeficientes de Manning diferentes de 0.013 (otros materiales), los valores de Tensión Tractiva Media y pendiente mínima a adoptar deben ser justificados. La expresión recomendada para el cálculo hidráulico es la fórmula de Manning.

- La máxima pendiente admisible es la que corresponde a una velocidad final  $V_f = 5 \text{ m/s}$ ; las situaciones especiales serán sustentadas por el proyectista.
- Cuando la velocidad final ( $V_f$ ) es superior a la velocidad crítica ( $V_c$ ), la mayor altura de lámina de agua admisible debe ser 50% del diámetro del colector, asegurando la ventilación del tramo. La velocidad crítica es definida por la siguiente expresión:

$$V_c = 6 \cdot \sqrt{g \cdot R_H}$$

Donde:

$V_c$ : Velocidad crítica (m/s)

$G$ : Aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$R_H$ : Radio hidráulico (m)

- La altura de la lámina de agua debe ser siempre calculada admitiendo un régimen de flujo uniforme y permanente, siendo el calor máximo para el caudal final, igual o inferior a 75% del diámetro del colector.
- En las calles o avenidas de 20 m de ancho o menos se proyectará un solo colector de preferencia en el eje de la vía vehicular. En avenidas de más de 20 m de ancho se proyectará un colector a cada lado de la calzada.
- La distancia entre la línea de propiedad y el plano vertical tangente de la tubería debe ser como mínimo 1,5 m. La distancia entre los planos tangentes de las tuberías de agua potable y red de aguas residuales debe ser como mínimo de 2 m.
- En los puntos de cruce de colectores con tuberías de agua de consumo humano, el diseño debe contemplar el cruce de éstas por encima de los colectores, con una distancia mínima de 0,25 m medida entre los planos horizontales tangentes. En el diseño se debe verificar que el punto de cruce evite la cercanía a las uniones de las tuberías

de agua para minimizar el riesgo de contaminación del sistema de agua de consumo humano.

- Si por razones de niveles disponibles no es posible proyectar el cruce de la forma descrita en el ítem anterior, será preciso diseñar una protección de concreto en el colector, en una longitud de 3 m a cada lado del punto de cruce.

#### Cámaras de inspección

Son las unidades de paso que conectan las intersecciones de tuberías pertenecientes a la red colectora, siendo su ubicación común los cruces de calles, curvas y cambios de pendiente. También son unidades de inspección por lo que se usan para mantenimiento y revisión de atoros.

Según la norma técnica OS 0.70 Redes de aguas residuales (2009), las cámaras de inspección podrán ser cajas de inspección, buzonetas y/o buzones de inspección. Se tienen las siguientes especificaciones:

#### Cajas de inspección

Se ubican en el trazo de los ramales colectores, destinada para su inspección y mantenimiento. Puede formar parte de la conexión domiciliar de alcantarillado. En zonas de pendiente pronunciada corresponderá colocar una caja por cada lote sirviendo como empalme para la conexión domiciliar. En zonas de pendiente suave la conexión domiciliar se podrá realizar mediante tee o yee sanitaria. La separación máxima entre cajas será de 20 m.

#### Buzonetas

Se utilizan en los colectores principales en vías peatonales cuando la profundidad sea menor a 1 m sobre la clave del tubo. Se proyectarán sólo para tuberías principales de hasta 200 mm de diámetro. El diámetro de las buzonetas será de 0.60 m.

#### Buzones

Se utilizan cuando la profundidad sea mayor a 1 m sobre la clave del tubo. El diámetro interior será de 1.20 m para tuberías de hasta 800 mm diámetro y de 1.50 m para las tuberías de hasta 1200 mm. Para tuberías de mayor diámetro las cámaras de inspección serán de diseño especial. Los techos de los buzones tendrán una tapa de acceso de 0.60 m de diámetro.

Se proyectarán cámaras de inspección en todos los lugares donde sea necesario por razones de inspección, limpieza y en los siguientes casos:

- En el inicio de todo colector.
- En todos los empalmes de colectores.
- En los cambios de dirección.
- En los cambios de pendiente.
- En los cambios de diámetro.

Las distancias máximas entre cámaras de inspección dependen del diámetro de los colectores, según la norma técnica se tiene:

Tabla N° 1: Separación máxima entre cámaras de inspección

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

Fuente: Adaptada NTP OS0.70 Redes de aguas residuales

Emisor

Tubería que recibe todo el caudal de la red colectora y la transporta hacia la planta de tratamiento o punto de descarga.

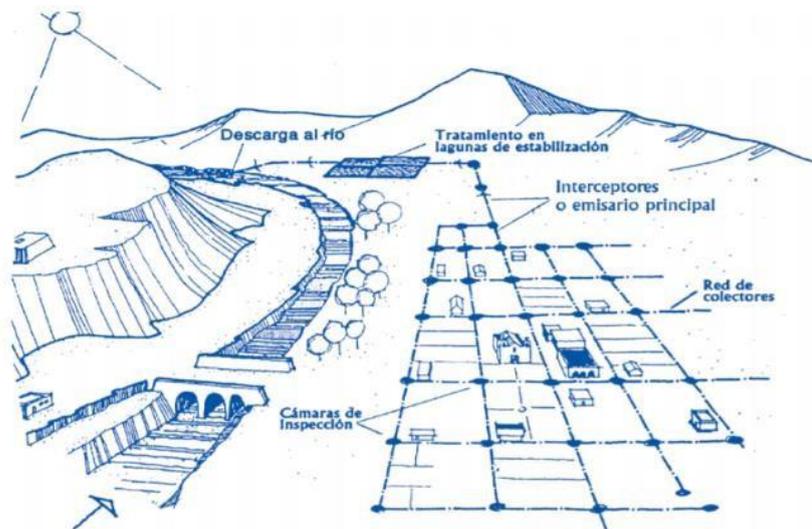


Figura N° 7: Componentes de un sistema de alcantarillado sanitario

Fuente: Manual de operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado(2018)

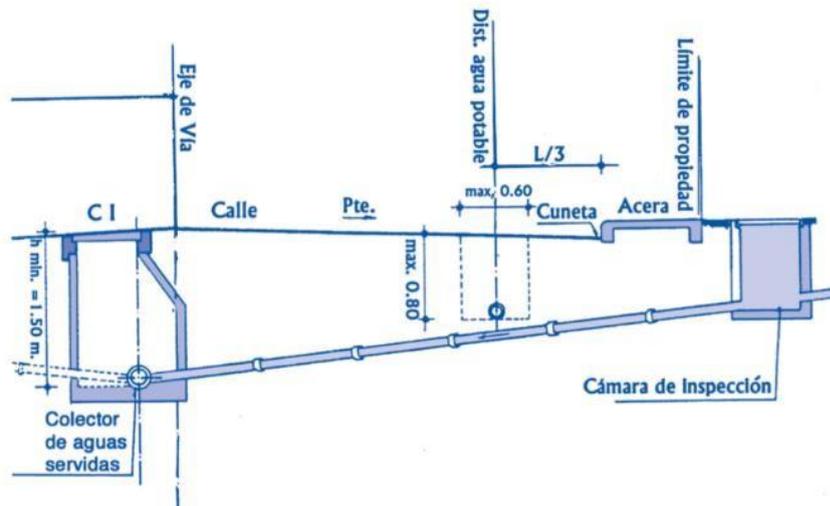


Figura N° 8: Conexión domiciliaria

Fuente: Manual de operación y mantenimiento de sistemas de alcantarillado(2018)

d) Modelos de configuración de alcantarillados

Según SIAPA (2014) no existe una regla general para el trazo de las redes de alcantarillado, ya que siempre se debe tomar en cuenta la topografía de la zona del proyecto y ajustarse a ello. Sin embargo, se pueden utilizar como guías las siguientes configuraciones:

- Trazo en bayoneta

Consiste en trazar la red de alcantarillado de tal manera que los colectores tomen una forma escalonada, siendo el punto de intersección los buzones. Es recomendable esta configuración de red en zonas de topografía estable o plana, con pendientes definidas donde la velocidad del flujo sea baja.

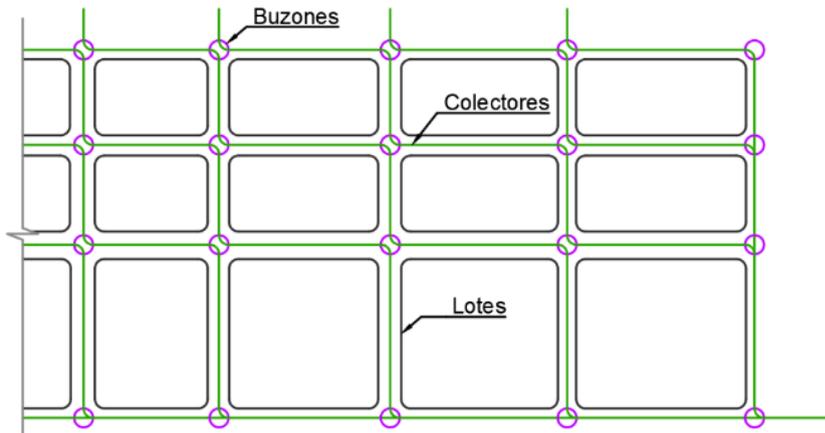


Figura N° 9: Trazo de alcantarillado en bayoneta Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

- Trazo en peine

Consiste en trazar los colectores de la red de forma paralela entre sí, descargando su contenido y empalmándose con un colector de mayor diámetro de forma perpendicular. Esta configuración tiene la ventaja de conducir los volúmenes de aguas residuales de forma rápida y directa, a la vez que se puede manejar la pendiente de forma independiente siendo útil en terrenos de topografía accidentada.

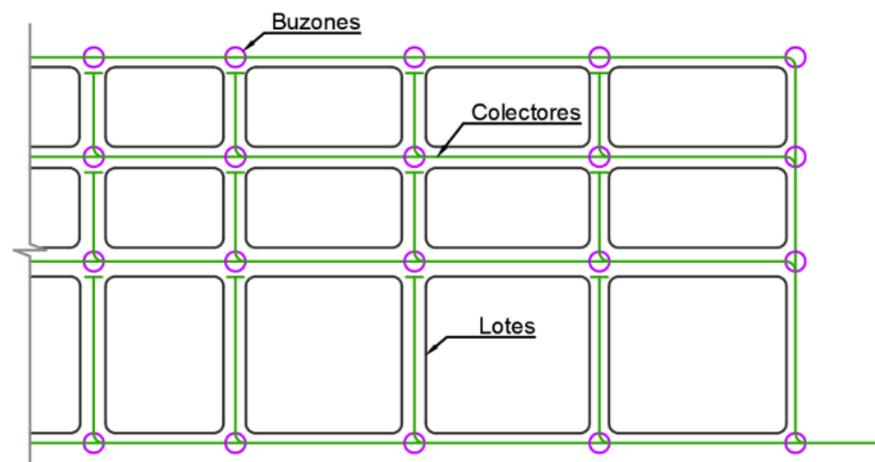


Figura N° 10: Trazo de alcantarillado en peine

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

- Trazo combinado o mixto

Consiste en trazar la red de colectores combinando el trazo en bayoneta y en peine de forma conveniente de acuerdo a la topografía.

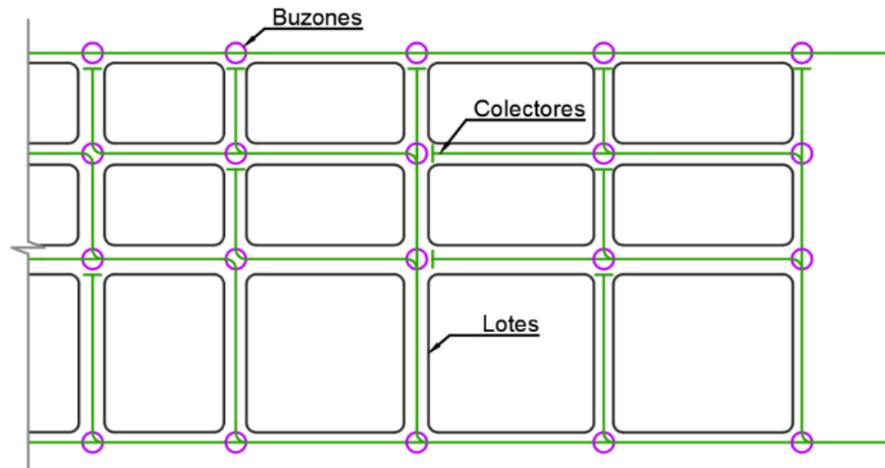


Figura N° 11: Trazo de alcantarillado combinado o mixto

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

- e) Trazos de colectores y emisores

Según Breña (2006) los modelos de configuración más usuales para colectores y emisores son los siguientes:

- Modelo perpendicular

Es comúnmente utilizado en localidades que tienen una corriente cercana. El trazo consiste en colocar los colectores de forma perpendicular y empalmar con el emisor que se extiende a lo largo de la corriente.

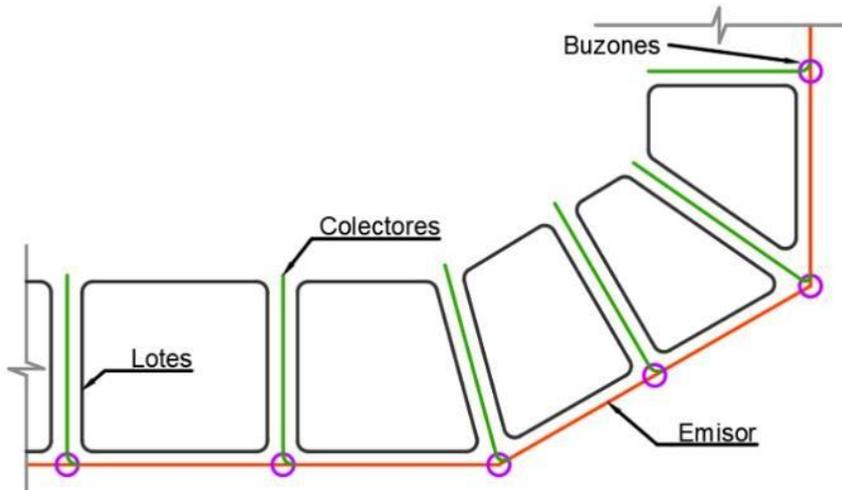


Figura N° 12: Trazo de colectores en modelo perpendicular

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

- Modelo radial

Se utiliza cuando la topografía del terreno tiende a ser más alta en la zona central y más baja en su perímetro. Los colectores tienden a formar una geometría radial, rodeando el perímetro de menor altura y recogiendo los caudales residuales para finalmente aportarlo al emisor.

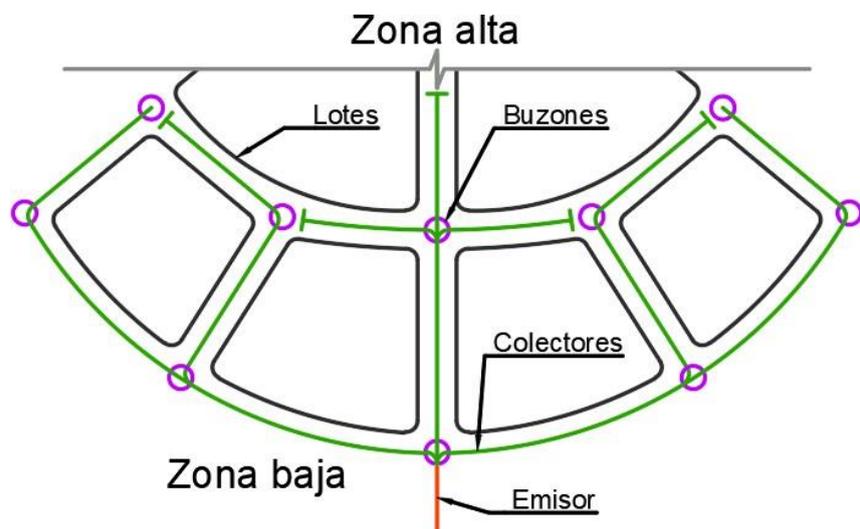


Figura N° 13. Trazo de colectores en modelo radial

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

- Modelo de interceptores

Se utiliza cuando la topografía del terreno es regular y es posible trazar colectores paralelos que transporten el caudal residual de otros contribuyentes para finalmente aportarlo al emisor.

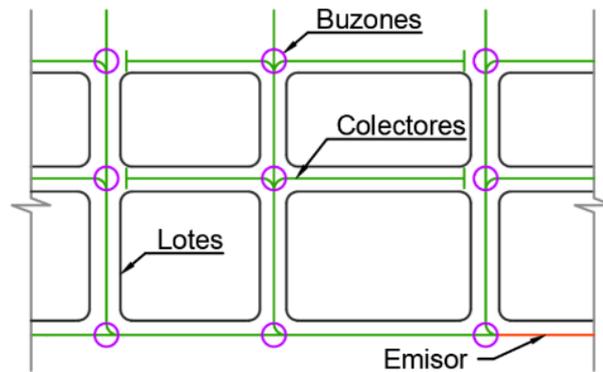


Figura N° 14: Trazo de colectores en modelo interceptores

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

- Modelo de abanico

Se utiliza cuando la zona de estudio se encuentra en un valle, se colocan tuberías que aporten el caudal residual a un solo colector que se encuentra en el interior de la localidad, siendo ésta la única descarga.

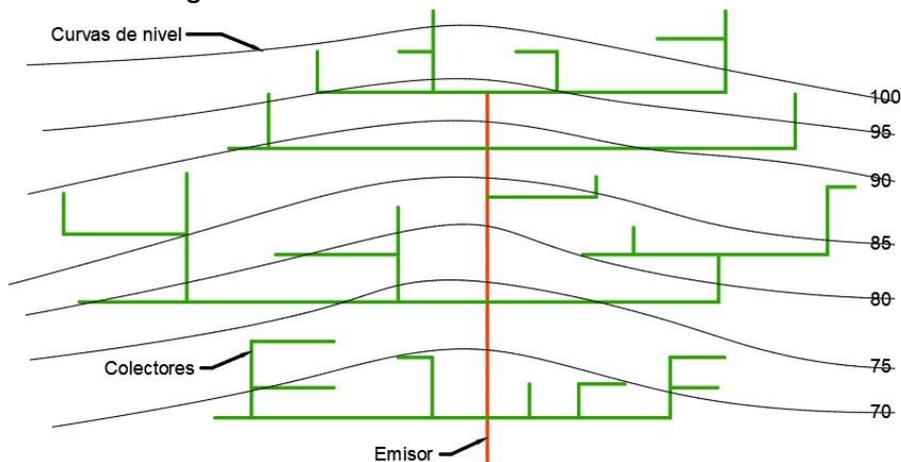


Figura N° 15: Trazo de colectores en modelo abanico

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

### 2.2.3 Parámetros de diseño

#### a) Topografía

Mendoza (2019) la topografía es una rama de la ingeniería cuya finalidad es la de medir determinadas regiones de terreno en la superficie terrestre, considerando toda la información necesaria para su apropiada representación en un plano escalado comprendiendo totalmente su configuración. Se miden longitudes horizontales y desniveles entre los puntos de interés sobre la superficie, así como los ángulos que forman las rectas de dichas mediciones. La topografía es de utilidad para lo siguiente:

- Representación de una extensión pequeña de terreno en un plano escalado.
- Representación de edificaciones existentes o artificiales en un planoescalado.
- Ubicación específica de un punto sobre la superficie terrestre, considerando un sistema de coordenadas particular.
- Replanteo de un punto a partir de un plano.
- Trazo de los ejes longitudinales y transversales de una construcción futura según los planos de proyecto.

División básica de la topografía

Según Mendoza (2019), se tiene la siguiente división en la topografía:

#### - Planimetría

Representa gráficamente un determinado territorio, no se consideran las variaciones de altura o irregularidades en la topografía, todo es proyectado de forma horizontal determinando un plano.

- Altimetría

Representa gráficamente las variaciones de altura de los puntos de interés en la superficie del terreno de estudio.

- Topografía integral

Es la representación gráfica de la superficie del territorio teniendo en cuenta el conjunto de proyecciones horizontales y verticales (planimetría y altimetría).

Levantamiento topográfico

Según Casanova (2002) es el procedimiento por el cual se determina la posición de los elementos naturales o artificiales en la superficie terrestre, obteniendo la configuración del terreno. Durante el proceso, se considera toda la información necesaria (distancias, desniveles, entre otras anotaciones) para la conveniente representación gráfica del área de estudio.

Tipos de levantamiento topográfico

Según Valencia (2008) se tienen los siguientes tipos de levantamiento topográfico:

- Levantamiento geodésico

Empleados para representar grandes extensiones de territorio con precisión elevada, se considera la forma real de la superficie terrestre (curvatura) y sus dimensiones. Dentro del rango de levantamientos geodésicos, se representan ciudades, regiones y/o países. El plano contiene rectas verticales y horizontales que conforman las coordenadas longitudinales y transversales, éstas a su vez, son la referencia para levantamientos de menores extensiones.

- Levantamientos topográficos

Son levantamientos de menor extensión, en la que no se considera la superficie real terrestre (curvatura). Su principal función es describir una determinada extensión de territorio relativamente pequeña, incluyendo estructuras artificiales. Se toman las mediciones de los desniveles para representar las variaciones de altura por medio de curvas de nivel.

- Levantamientos aerofotogramétricos

Consiste en la toma de datos mediante un dispositivo aéreo, pudiéndose tratar de aviones o drones, que cuentan con una cámara fotográfica que capta las imágenes desde las alturas. El recorrido aéreo debe ser planificado muy cuidadosamente, la información tomada (fotogramas) es interpretada mediante diversos procesos de cálculo para finalmente obtener los planos topográficos.

- Levantamientos catastrales

Realizados con frecuencia para determinar los límites de las propiedades, sean en zonas urbanas o rurales. Se determinan también las estructuras contenidas en las propiedades, con fines de conocer los detalles, dimensiones, tasación, derechos de propiedad y de recaudación de impuestos por parte del estado.

- Levantamientos hidrográficos

Son aquellos que tienen relación con los cuerpos de agua, que incluyen la determinación de límites de playas, lagos, lagunas, ríos. También se realiza la batimetría para conocer las características topográficas (irregularidades, profundidades) del fondo de los cuerpos de agua, con el fin de determinar las zonas de acceso en playas, rutas de navegación, entre otros.

#### Métodos taquimétricos

Según Casanova (2002) son los procedimientos para determinar las coordenadas Norte, Este y Cota simultáneamente para definir los

puntos de interés en un levantamiento topográfico sobre la superficie terrestre. Estos procedimientos de topografía se realizan con teodolito y mira vertical, donde no es necesario de grandes precisiones en los levantamientos a detalle; en la actualidad el equipo topográfico más utilizado es la estación total, que, con sus programas y aplicaciones incluidas, realizan los cálculos de forma automática y aceleran el procesamiento de datos.

- Teodolito y mira vertical

Según Casanova (2002) se basa en la determinación óptica de distancias, en el paso de coordenadas polares a rectangulares y en el cálculo de nivelación taquimétrica.

El proceso de determinación de distancia óptica consiste en mirar a través del retículo del telescopio del teodolito a la mira posicionada de forma vertical, ubicada en el punto de interés de levantamiento, y apuntar las lecturas de los hilos superior e inferior que coincidan con la mira, así como el ángulo cenital (formado entre la vertical y la inclinación del telescopio). La distancia se calcula operando de la siguiente manera:

$$D=100*(H_s-H_i)* \sin \varphi^2$$

Donde:

D: Distancia horizontal

H<sub>s,i</sub>: Lecturas de hilo superior e inferior

Φ: Ángulo cenital

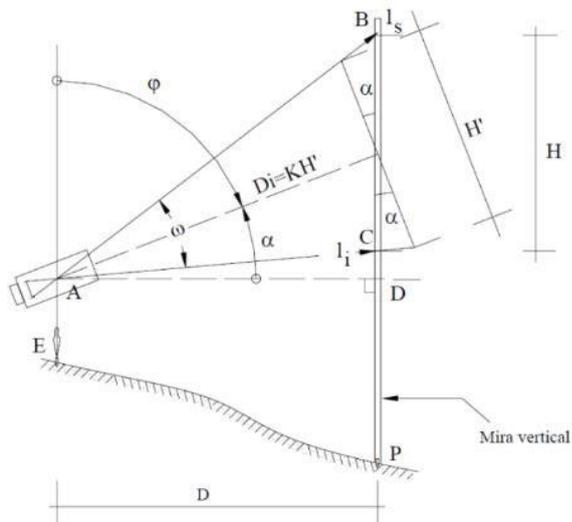


Figura N° 16: Distancia óptica por taquimetría

Fuente: Casanova (2002)

El proceso de determinación del desnivel por taquimetría, consiste en operar los mismos datos anteriormente obtenidos para la determinación de distancia óptica, además de la altura del teodolito con respecto al nivel de terreno y la lectura media en la mira vertical. Se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta A-B = KH \cos \phi \sin \phi + h_i - l_m$$

Donde:

K: En equipos modernos equivale a 100

H: Diferencia de lecturas de hilo superior e inferior

$\Phi$ : Ángulo cenital

$h_i$ : Altura de teodolito con respecto al terreno

## Im: Lectura media en la mira

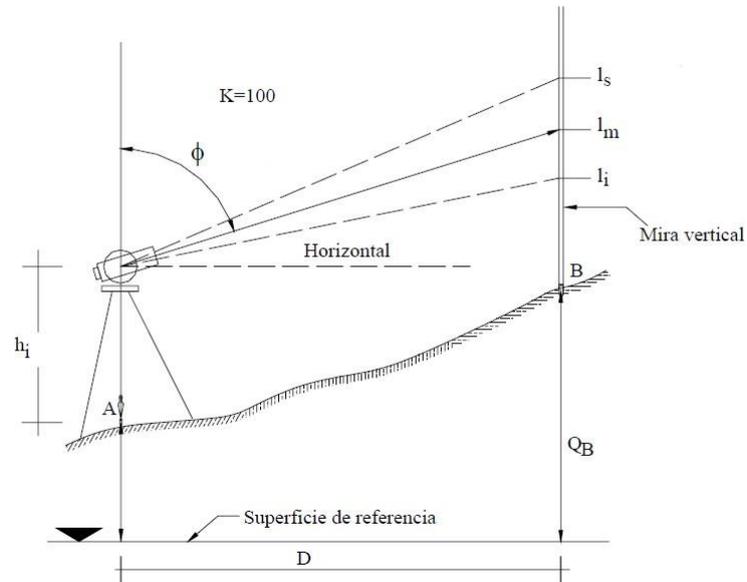


Figura N° 17: Desnivel por taquimetría

Fuente: Casanova (2002)

### - Estación total

Según Casanova (2002) una de las grandes ventajas de levantamientos con estación total es que la toma y registro de datos es automática, eliminando los errores de lectura, anotación, transcripción y cálculo; ya que con estas estaciones la toma de datos se da en forma digital y los cálculos de programas se realizan por medio de programas de computación incorporados.



Figura N° 18: Estación total TOPCON ES103

Fuente: Geodesical Technology (2021)

Métodos de levantamiento topográfico por taquimetría

Según Valencia (2008) se tienen los siguientes métodos clásicos empleados con frecuencia en actividades de ingeniería.

- Radiación

Es un método topográfico que consiste en instalarse en uno de los puntos de coordenadas conocidas de una base topográfica, o sobre un punto de coordenadas conocidas (A), y orientándose por el otro punto de la base (B) o de un punto de dirección conocida (B), se mide la distancia horizontal  $D_{HA-P}$ , entre el punto estación (A) y el punto observado (P) y además se mide el ángulo horizontal horario  $\theta_{A-P}$  entre las líneas. Para la medición de distancia se puede utilizar teodolito con mira, teodolito con cinta de acero, distanciómetro o estación total con jalón y prismas.

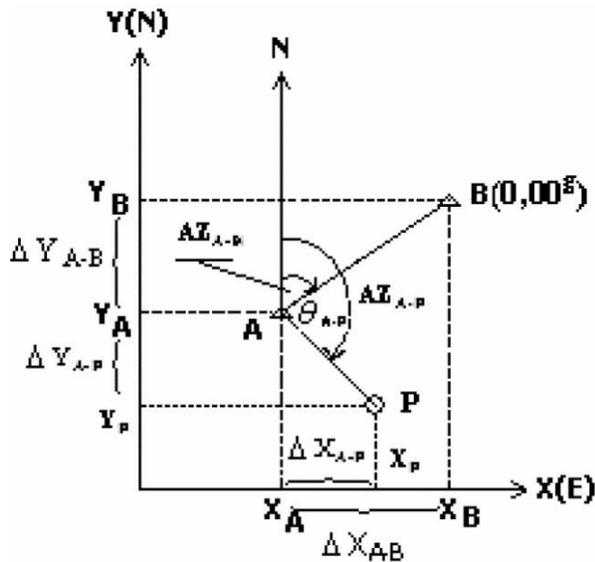


Figura N° 19: Método de levantamiento topográfico por radiación

Fuente: Valencia (2008)

- Intersección

#### La Triangulación

La triangulación topográfica, por su precisión, ha sido uno de los métodos clásicos más usados en el levantamiento de coordenadas planimétricas de vértices ubicados a distancias kilométricas; dichos vértices sirven a su vez para ligar diversos trabajos topográficos.

Este método, consiste básicamente en que a partir de una base topográfica A-B conocida, se puede determinar la posición de un punto C, para ello la solución consiste en instalarse con un teodolito en las estaciones topográficas A, B y C y se miden por reiteración los ángulos horizontales interiores  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , además los ángulos verticales A-C, A-B, B-A, B-C, C-A, C-B, las alturas instrumentales  $h_iA$ ,  $h_iB$ ,  $h_iC$ , los hilos medios  $h_mA$ ,  $h_mB$  y  $h_mC$ .

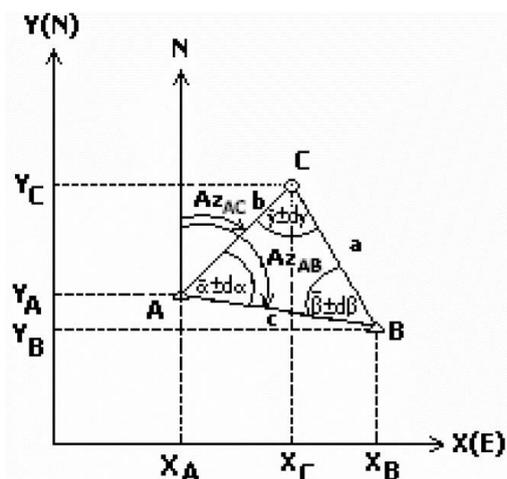


Figura N° 20: Método de levantamiento topográfico por intersección -triangulación

Fuente: Valencia (2008)

### La Trilateración

El surgimiento del método topográfico conocido como trilateración se inicia con la aparición de una amplia gama de distanciómetros electrónicos y de estaciones totales, las operaciones consisten en medir las longitudes de los lados de los triángulos, para determinar con ellos por trigonometría los valores de sus ángulos, es decir, el proceso inverso que se utiliza en la triangulación. La medición de los lados de los triángulos debe hacerse en forma recíproca y con a lo menos cuatro mediciones en ambas direcciones. Las mediciones lineales deben corregirse por presión y por temperatura, ingresándose además la constante de los prismas, en 0,000 m en el lado de afuera o plano del portaprisma (of set) o en 0,030 m en el lado interior del portaprisma (in).

Las operaciones en terreno consisten en instalarse en las tres estaciones A, B y C con el distanciómetro o con una estación total, en los extremos opuestos se ubican los prismas reflectores, y se miden recíprocamente las distancias A-B, A-C, B-A, B-C, C-B y C-A, además se deben medir los ángulos verticales con tres reiteraciones c/u (para lograr trabajos geodésicos entre el 3er y 4º orden) en las direcciones A-C, A-B, B-A, B-C, C-A y C-B, las alturas instrumentales  $hiA$ ,  $hiB$ ,  $hiC$ , así como también las alturas de jalón  $hjA$ ,  $hjB$  y  $hjC$ .

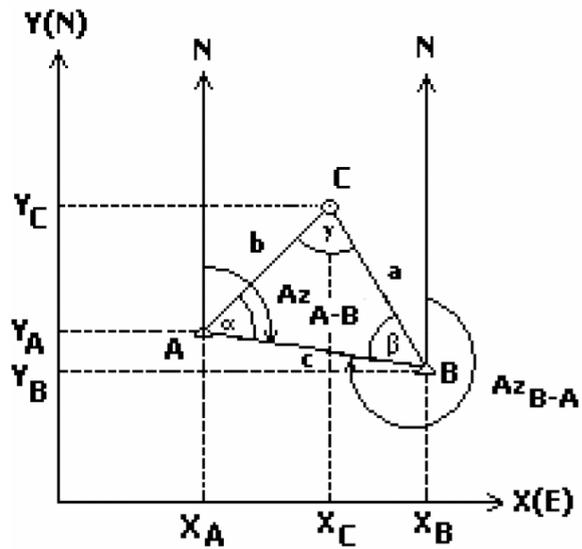


Figura N° 21: Método topográfico por intersección - trilateración

Fuente: Valencia (2008)

#### Intersección inversa o problema de la carta (Pothenet)

La intersección inversa consiste en que, a partir de tres puntos de coordenadas conocidas, un operador se puede instalar con teodolito sobre una estación creada P y se miden los ángulos horizontales  $\alpha'$  y  $\beta$ , la altura instrumental  $hi_P$ , los hilos medios  $hm_A$ ,  $hm_B$  y  $hm_C$ , los ángulos verticales P-A, P-B o P-C y obtener la posición de la estación de instalación P.

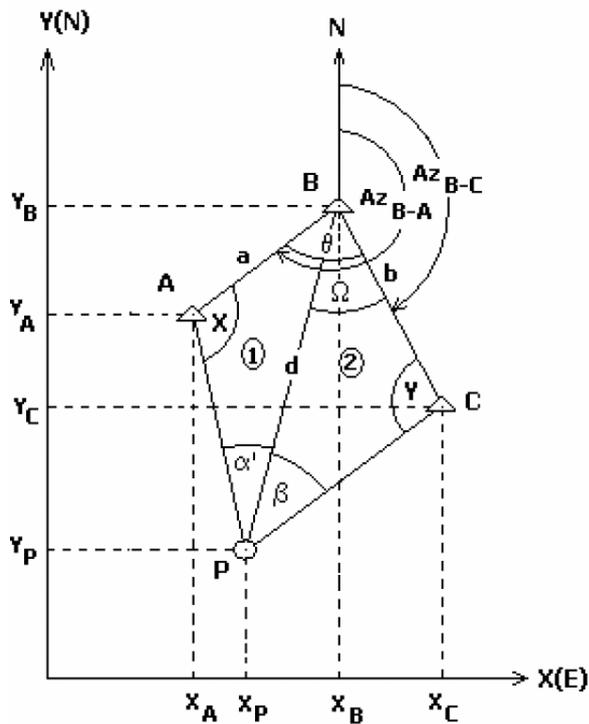


Figura N° 22: Método de levantamiento topográfico por intersección inversa

Fuente: Valencia (2008)

- Poligonal

A partir de un vértice que tiene coordenadas conocidas es posible determinar la posición de otro punto, si se mide la distancia horizontal entre ellos y su azimut, este proceso puede extenderse indefinidamente midiendo cada vez la distancia horizontal entre la última estación creada y el nuevo punto del polígono, y además el ángulo horizontal entre las líneas, a todo este proceso se le denomina poligonación.

Las  $DH_{i,j}$  deben medirse en forma recíproca. Los Azimuts  $i,j$  se obtienen a partir del  $Az_{A-B}$  y los ángulos exteriores  $\alpha_i$  aplicando la regla de los azimuts en cada línea. Los ángulos horizontales  $\alpha_i$  deben medirse por reiteración las veces que lo requiera el orden de precisión del trabajo topográfico.

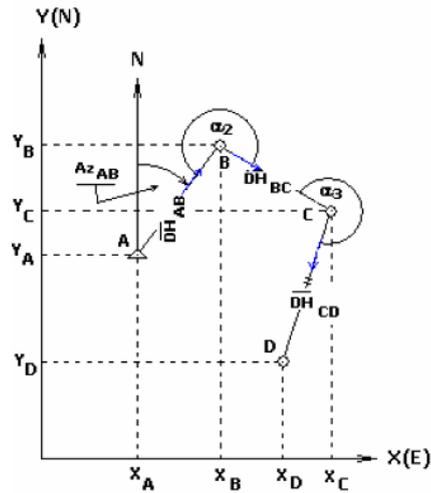


Figura N° 23: Método de levantamiento topográfico por poligonal

Fuente: Valencia (2008)

### Representación del relieve a través de las curvas de nivel

Según Valencia (2008) para representar apropiadamente la superficie terrestre en un plano se deben utilizar las curvas de nivel. Éstas son líneas o curvas imaginarias que contienen puntos de una misma elevación con respecto a un plano de referencia (por ejemplo, el nivel del mar). Son espaciadas de forma equidistante a la variación de altura considerada. Representan las variaciones de altura o desniveles de la superficie terrestre visto desde una proyección horizontal.

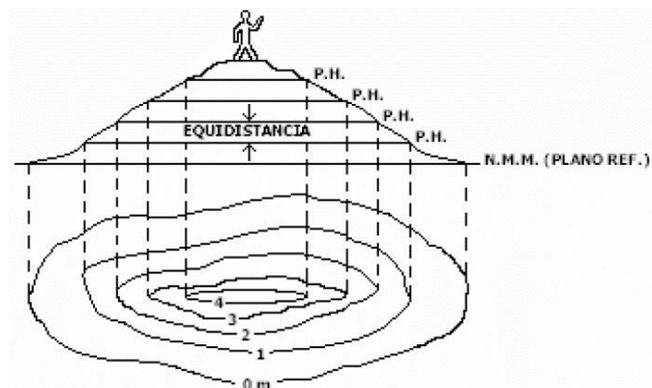


Figura N° 24: Curvas de nivel

Fuente: Valencia (2008)

## Representación de planos topográficos según normativa

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones para obras de saneamiento: OS.070 Redes de Aguas Residuales (2009) la información topográfica para la elaboración de proyectos son las siguientes:

- Plano de lotización del asentamiento con curvas de nivel cada 1 m. indicando la ubicación y detalles de los servicios existentes y/o cualquier referencia importante.
- Perfil longitudinal a nivel del eje de vereda en ambos frentes de la calle, en todas las calles del asentamiento humano, y en el eje de la vía, donde técnicamente sea necesario.
- Secciones transversales: mínimo 3 cada 100 metros en terrenos planos y mínimo 6 por cuadra, donde exista desnivel pronunciado entre ambos frentes de calle y donde exista cambio de pendiente. En Todos los casos deben incluirse nivel de lotes.
- Perfil longitudinal de los tramos que, encontrándose fuera del asentamiento humano, pero que sean necesarios para el diseño de los empalmes con la red de agua y/o colectores existentes.
- Se ubicará en cada habilitación un BM auxiliar como mínimo y dependiendo del tamaño de la habilitación se ubicarán dos o más, en puntos estratégicamente distribuidos para verificar las cotas de cajas condominales y/o buzones a instalar.

### a) Hidráulica de canales

Cadavid (2006) lo define como la rama de la hidráulica que comprende la teoría y los procedimientos para el diseño de conducciones que transportan flujo a superficie libre, pudiéndose tratar de canales abiertos o cerrados.

### Canales

Rodríguez (2008) señala que son conductos abiertos o cerrados en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera; esto quiere decir que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso.

- Canales naturales

Según Rodríguez (2008) son todas las formas naturales de recorrido de agua existentes en la tierra pudiendo ser superficiales o subterráneos. Dentro de los superficiales se encuentran los ríos, quebradas, arroyos, lagos, lagunas y mares de cualquier extensión. Lo subterráneos incluyen los acuíferos. En todos los casos, las secciones transversales de los canales naturales son muy irregulares tanto en alineación como material de composición.

- Canales artificiales

Según Rodríguez (2008) son todos aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo de la mano del hombre. Normalmente son diseñados con secciones prismáticas (tienen sección transversal y pendiente de fondo constante).

#### Secciones de canales frecuentes

Según Villón (2007), se tienen las siguientes secciones transversales prismáticas más comunes:

#### Secciones abiertas

- Sección trapezoidal

Comúnmente empleado en canales de tierra y revestidos.

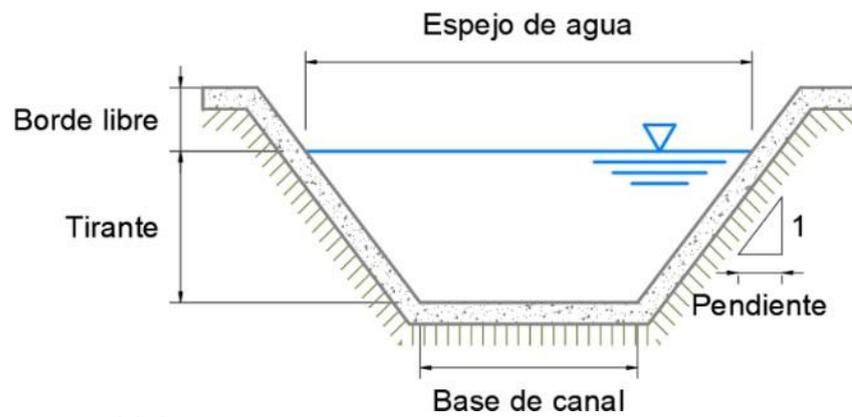


Figura N° 25: Canal trapezoidal

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

- Sección rectangular

Empleado para canales en roca, madera y revestidos.

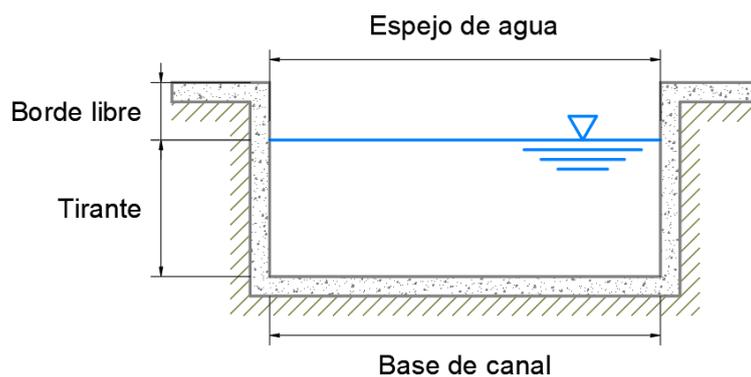


Figura N° 26: Canal rectangular

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

- Sección triangular

Empleado para cunetas de drenaje pluvial revestidos de carreteras y canales de tierra de fácil trazo.

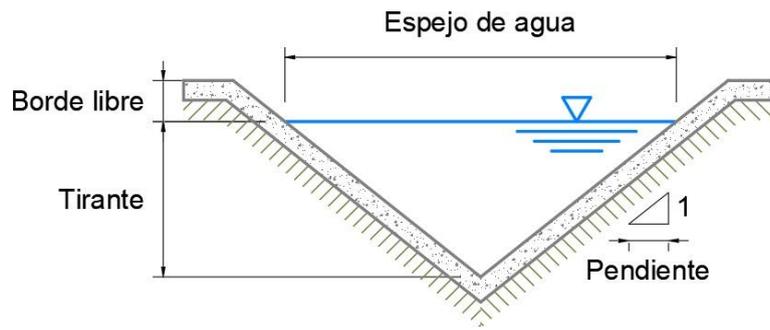


Figura N° 27: Canal triangular

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

- Sección parabólica

Empleado para canales revestidos, además es la forma que adoptan los canales de tierra con años de antigüedad.

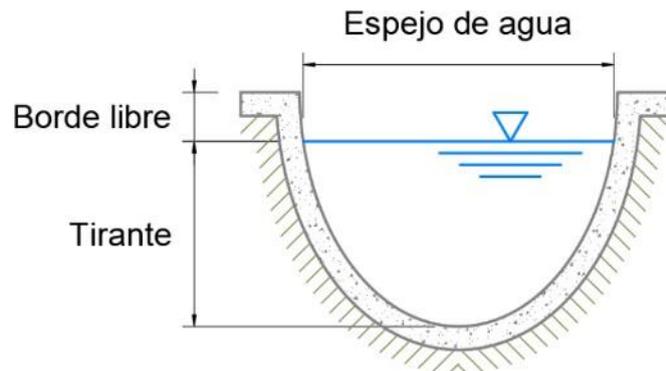


Figura N° 28: Canal parabólico

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

Secciones cerradas

- Sección circular

Es la sección más común utilizado para sistemas de alcantarillado sanitario, debido al uso de tuberías para los colectores de aguas residuales.

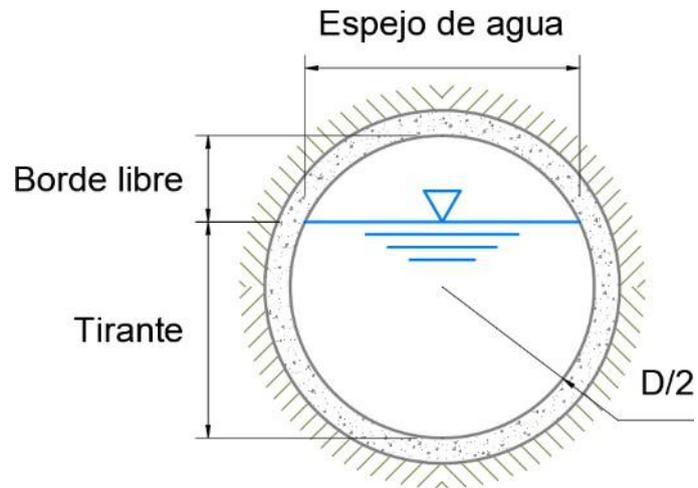


Figura N° 29: Canal circular

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

- Sección herradura

Empleado para conductos de alcantarillado y estructuras importantes.

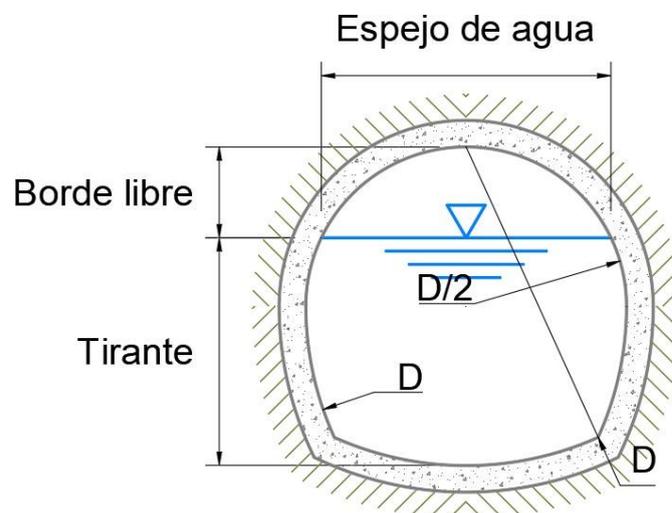


Figura N° 30: Canal herradura

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

## Hidráulica de conductos cerrados

### a) Teorema de Bernoulli

Rocha (2007) La forma más conocida del teorema de Bernoulli es

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z = \text{constante} \quad \text{—}$$

Donde:

$\gamma$ : Densidad del fluido

P: Presión a lo largo de la línea de corriente

V: Velocidad del fluido en la sección considerada

z: Presión a lo largo de la línea de corriente

g: Aceleración gravitatoria

La suma de los tres términos es constante a lo largo de una línea de corriente en un movimiento permanente e irrotacional (para un fluido ideal).

Cada uno de los tres términos tiene las dimensiones de una energía por unidad de peso del fluido

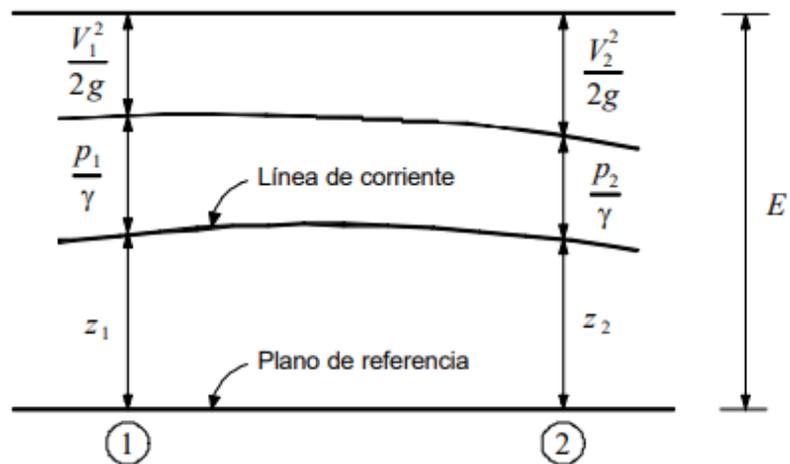


Figura N° 31: Teorema de Bernolli

Fuente: Rocha (2007)

Al primer término  $\frac{V^2}{2g}$ , se le conoce con el nombre de energía de velocidad o energía cinética y representa la altura desde la que debe caer libremente un cuerpo, que parte del reposo, para adquirir la velocidad  $V$

Los otros dos términos son la altura de presión y la elevación. Su suma representa la energía potencial y constituye la cota piezométrica.

El teorema de Bernoulli significa que para una línea de corriente la

suma de la energía cinética y la potencial es constante.

En una tubería o en un canal cada línea de corriente tiene un valor propio para la suma de Bernoulli. Su representación gráfica a lo largo de una línea de corriente se aprecia en la Figura N°32. En un fluido ideal (es decir, sin viscosidad), la energía  $E$  es igual en 1 y en 2.

La ecuación de la energía para un fluido real es entonces

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{f_{1-2}}$$

o bien,

$$E_1 = E_2 + h_{f_{1-2}}$$

$V$  es la velocidad de la corriente,  $p$  la presión,  $z$  la elevación con respecto a un plano horizontal de referencia (los subíndices 1 y 2 corresponden a cada una de las dos secciones consideradas),  $\gamma$  es el peso específico del fluido,  $g$  la aceleración de la gravedad.

$E$  es la energía total,  $h$  es la disipación (pérdida) de energía entre las secciones 1 y 2

En un flujo paralelo se tendrá que la energía potencial (presión más elevación) es constante para toda la sección transversal. La diferencia de energía entre una línea de corriente y otra se debe a la variación de la velocidad. En un flujo paralelo la distribución de presiones es hidrostática

#### b) Perdidas de cargas Manning

Sotelo (2002) Las ecuaciones de Manning se suelen utilizar en canales. Para el caso de tuberías son válidas cuando el canal es circular y está parcial o totalmente lleno o cuando el diámetro de la tubería es muy grande. La expresión es la siguiente

$$\Delta = 10.3 \times \frac{n^2}{D^{5.33}} \times L$$

Donde:

$\Delta$ : Pérdida de carga o de energía (m)

n; Coeficiente de rugosidad (adimensional)

D: Diámetro interno de la tubería

L: Longitud de la Tubería (m)

Tabla N° 2: Coeficientes de rugosidad de Manning

Fuente: Sotelo (2002)

<u>Coeficiente de rugosidad de Manning de materiales</u>	
Material	n
Plástico (PE, PVC)	0.006 - 0.010
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0.009
Acero	0.010 - 0.011
Hierro galvanizado	0.015 - 0.017
Fundición	0.012 - 0.015
Hormigón	0.12 - 0.017
<u>Hormigón revestido</u>	<u>0.016 - 0.022</u>

c) Tipos de tuberías en sistemas de alcantarillado

Stroifaq (2019) Tubos de alcantarillado: productos sin los cuales hoy en día es imposible imaginar una vivienda cómoda. Por qué se necesitan las aguas residuales y cuán importantes es su pleno funcionamiento, es conocido y comprensible para todos. Pero aún queda la pregunta, qué tuberías son mejores para las aguas

residuales, porque su rango es amplio, y el sistema de alcantarillado debe servir de manera confiable y eficiente.

#### Hierro Fundido

Stroifaq (2019) Estas tuberías son duraderas, duraderas, las aguas residuales de las tuberías de hierro fundido han estado en funcionamiento durante muchos años. Pero a pesar de las ventajas, también hay algunas desventajas, por ejemplo, los impresionantes costos del metal y, como resultado, el gran peso de las tuberías terminadas. Además, la superficie interna se caracteriza por la aspereza, lo que significa que se crea resistencia al flujo de agua, por esta razón, se forman crecimientos dentro de la tubería de hierro fundido. La instalación debido al gran peso de las tuberías es complicada y requiere mucho tiempo. Bueno, el inconveniente más significativo, las tuberías de hierro fundido son caras, ya que la producción de este metal no es barata.

#### Tubos de PVC

Stroifaq (2019) Las tuberías de PVC para aguas residuales se utilizan en mayor medida para alcantarillas de gravedad. Son resistentes a la radiación ultravioleta, y un bajo coeficiente de expansión lineal es perfecto para las aguas residuales. Las tuberías de PVC se caracterizan por su alta resistencia y buena resistencia al daño mecánico, así como por soportar desagües con una temperatura de 70 grados. Pero aquí, el hecho de la exposición a productos químicos, detergentes agresivos y líquidos a altas temperaturas afecta negativamente el estado de las tuberías, las paredes se dañan y se produce una placa, que finalmente se convierte en un bloqueo.

#### Caudales de aguas residuales

OPS (2005) Para determinar el caudal de aguas residuales que se utilizará en el diseño de los sistemas de alcantarillado, se debe considerar los siguientes factores

#### Factor de retorno

Sotelo (2002) La cantidad de aguas residuales generada por una comunidad es menor a la cantidad de agua potable que se le suministra, debido a que existen pérdidas a través del riego de jardines, abrevado de animales,

limpieza de viviendas y otros usos externos. El porcentaje de agua distribuida que se pierde y no ingresa a las redes de alcantarillado, depende de diversos factores, entre los cuales están: los hábitos y valores de la población, las características de la comunidad, la dotación de agua, y las variaciones del consumo según las estaciones climáticas de la población. En áreas áridas de Estados Unidos, por ejemplo, el factor de retorno es tan pequeño como 0,4, mientras que en las zonas peri urbanas de Brasil es mayor, 0,8, sin embargo, en los proyectos se han empleado valores más bajos, 0,65.

Es recomendable estimar este factor en base a información y estudios locales, sin embargo, cuando no puedan ser realizados es recomendable asumir valores entre 0,80 a 0,85.

#### Caudal de infiltración

Sotelo (2002) El caudal de infiltración incluye el agua del subsuelo que penetra las redes de alcantarillado, a través de las paredes de tuberías defectuosas, uniones de tuberías, conexiones, y las estructuras de los pozos de visita, cajas de paso, terminales de limpieza, etc. El caudal de infiltración se determinará considerando los siguientes aspectos:

- Altura del nivel freático sobre el fondo del colector.
- Permeabilidad del suelo y cantidad de precipitación anual.

- Dimensiones, estado y tipo de alcantarillas, y cuidado en la construcción de cámaras de inspección.
- Material de la tubería y tipo de unión, se recomienda tasas de infiltración en base al tipo de tubería, al tipo de unión y la situación de la tubería respecto a las aguas subterráneas.

Tabla N° 3: Valores de infiltración de tuberías

Tubo de Cemento		Tubo de PVC			
Unión	Cement o	Goma	Cement o	Goma	
Nivel freático bajo	0.5	0.2	0.1	0.05	
Nivel freático alto	0.8	0.2	0.15	0.5	

Fuente: OPS (2005)

$$K = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{med}}} = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad (\text{Harmon})$$

$$K = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{med}}} = \frac{5}{p^{0.2}} \quad (\text{Babbit})$$

$$K = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{med}}} = \frac{7}{p^{0.1}} \quad (\text{Flores})$$

$$K = K_1 + K_2$$

Donde:

P = Población en millares de habitantes.

p = Población en habitantes.

K1 = Relación entre caudal máximo diario y el caudal medio diario, igual a 1,2.

K2 = Relación entre caudal máximo horario y el caudal medio horario, igual a 1,5.

#### Tubería de desagüe

Según Netjet (2019) Los desagües son un elemento imprescindible para la eliminación de aguas y residuos líquidos de todo tipo de una vivienda. Tanto de los que se utilizan para cocinar y quedan como restos como los que se usan para limpiar. Además, entre los tipos de desagüe también los hay que sirven para llevar a las tuberías y sistemas de alcantarillado el agua procedente de la lluvia. El desagüe de una edificación consiste en todo el conjunto de tuberías canales, accesorios y demás estructuras dispuestas de tal manera que evacuen las aguas servidas y las aguas lluvias hacia el sistema de alcantarillado del lugar. Este conjunto de tuberías permite la evacuación de las aguas servidas en el predio las cuales deben cumplir las siguientes condiciones:

Evacuar en forma rápida las aguas servidas, alejándolas de los aparatos sanitarios Impedir el paso de malos olores por degradación de materia orgánica y de organismos patógenos de las tuberías al interior de la edificación. Dichas tuberías deben ser de material durable tal que resista la acción corrosiva externa (terreno) e interna (por flujo de aguas servidas). Esto implica que hay desagües en muchos puntos de las viviendas y edificios. Algunos incluso son invisibles a los que viven en ellas. Porque no son todos iguales. Los hay de distinto tipo, en función tanto de su ubicación como del lugar que ocupan. A continuación, hablaremos de los distintos tipos de desagüe.

#### Excavación para tendido de tuberías

Según León (2015) Las excavaciones de zanjas para tuberías se rellenan utilizando material seleccionado adecuado proveniente de excavaciones y/o canteras. El material excavado (incluyendo aquél

suministrado de canteras de préstamo) seleccionado para su uso como material de cama para tuberías, relleno de zanjas debe estar libre de terrones y grumos. Además, se tiene cuidado de que el relleno no tenga tierra que contenga materias orgánicas en cantidades deletéreas, ni raíces o arcillas o limos uniformes.



Figura N° 32: Excavación de zanja para colocación de tubería de alcantarillado

Fuente: Aristegui (2014)

El relleno de las zanjas tiene diferentes capas las cuales presentan materiales distintos y son mencionadas a continuación:

- Cama de apoyo

La cama de apoyo garantiza la estabilidad y el descanso uniforme de los tubos, por ende, se toma en cuenta las características del terreno y de la

tubería que se va instalar, en este caso por tratarse de tubería de hierro fundido dúctil revestida con funda de polietileno se debe utilizar arena gruesa.

En referencia al espesor de la cama de apoyo, se proporcionó un espesor de 15 cm tanto para terrenos normales, semirocosos y rocosos.

- Relleno Lateral y superior

A continuación de la colocación de la tubería y acoplada a otra, se procede al relleno a ambos lados del tubo hasta cubrir una altura de 30 cm sobre la tubería con el material selecto similar al empleado en la cama, libre de terrones grandes, por capas de 15 cm regadas y apisonadas. Para la compactación se utilizó equipos manuales, debiendo obtenerse un grado de compactación no menor al 95% de la máxima densidad seca del Proctor Modificado ASTM D 698.

- Relleno final

Se completó el relleno de la zanja con el material de relleno seleccionado (tamizado del material de las excavaciones) en capas de 0.15m de espesor máximo regado a la humedad óptima, apisonado y bien compactado mecánicamente. Para el relleno seleccionado se empleó rodillos, aplanadoras y apisonadoras, tipo rana u otras máquinas apropiadas. Las máquinas se pasaron tantas veces como sea necesario para obtener una densidad de relleno para las áreas sin tráfico vehicular del 95% y para las áreas con tráfico vehicular no menor del 98% de la máxima obtenida mediante el ensayo ASTM D-698. Tanto la clase de material de relleno como la compactación, se controlaron continuamente durante la ejecución de la obra, haciéndose verificaciones de campo y tomando muestras para cumplir con las densidades de campo a través de análisis de laboratorio.

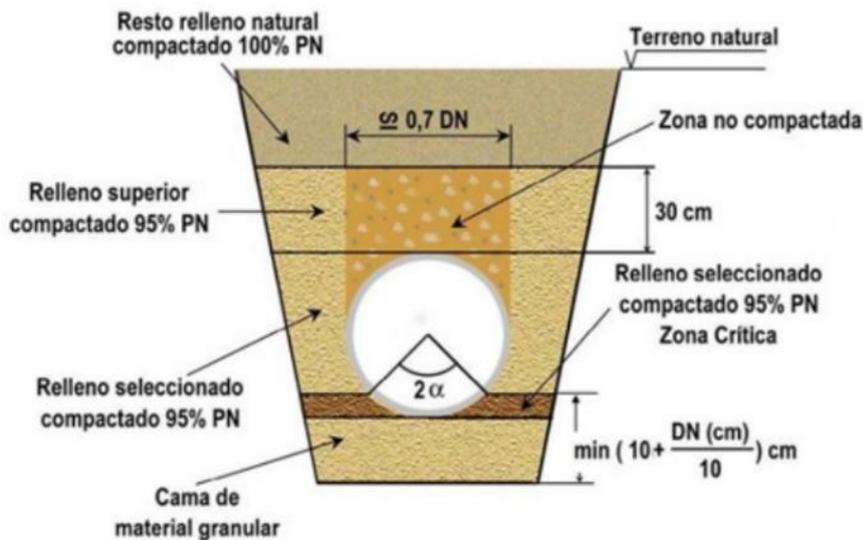


Figura N° 33. Detalle de excavación y relleno de zanja para tubería de alcantarillado

Fuente: Aristegui (2014)

#### Normativa peruana

Según la norma técnica OS 0.70 Redes de aguas residuales (2009), se tienen las siguientes especificaciones de recubrimiento de las redes de alcantarillado sanitario.

- El recubrimiento sobre las tuberías no debe ser menor de 1.00 m en las vías vehiculares y de 0.60 m en las vías peatonales. Los recubrimientos menores deben ser justificados.
- Si existiera desnivel en el trazo de un ramal colector de alcantarillado, se implementará la solución adecuada a través de una caja de inspección, no se podrá utilizar curvas para este fin, en todos los casos la solución a aplicar contará con la protección conveniente.
- La red de aguas residuales no debe ser profundizada para atender predios con cota de solera por debajo del nivel de vía. En los casos en que se considere necesario brindar el servicio para estas condiciones, se debe realizar un análisis de la conveniencia de la profundización considerando sus efectos en los tramos subsiguientes y comparándolo con otras soluciones.

## Geología

Salas (2003) Nos muestra que Geológicamente la zona de estudio está ubicada en la Región Sur Occidental de los Andes y la Llanura costanera, a una altura promedio de 2,200 m.s.n.m. (Provincia de Mariscal Nieto

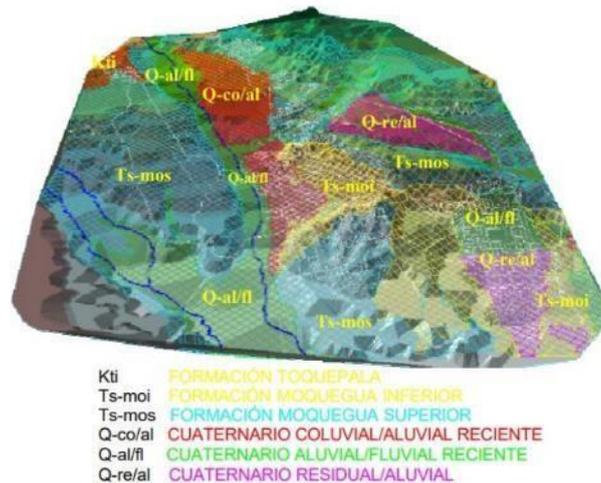


Figura N° 34. Mapa geología superficial de la ciudad de Moquegua

Fuente: Salas (2003)

### Zonificación Geotécnica

Salas (2003) Nos menciona que en la ciudad de Moquegua se ha zonificado en cuatro zonas geotécnicas que representan adecuadamente el comportamiento de los suelos de fundación ante las solicitaciones externas. Cada una de estas zonas agrupa áreas con características geotécnicas similares, variando desde la Zona I, constituido por un terreno competente y con menores niveles de peligros ante fenómenos naturales, hasta la Zona IV conformado por terrenos menos adecuados para la cimentación de edificaciones convencionales y con mayores niveles de peligros. La delimitación de estas zonas está basada en toda la información procesada en este estudio, para lo cual no solo se han elaborado los perfiles estratigráficos del terreno de fundación de las diferentes áreas, sino que, además, con la ayuda de herramientas de información geográficas se han elaborados mapas de tipos de suelos a diferentes niveles de profundidad. Las Figura N°s 7 y 8

presentan dos de estos mapas de tipos de suelos observados a nivel superficial y a 1.0 m de profundidad respectivamente.

ZONA I, Esta zona está conformada por la parte consolidada de la ciudad. Superficialmente presenta material de relleno constituido por arenas y gravaslimosas medianamente compacta que en algunas zonas llegan hasta los 2.00 m de profundidad. El terreno natural esta conformado por gravas con matriz arenosa y limosa, de compacidad media suelta a densa. La capacidad portante del terreno para cimentaciones típicas varía de 1.2 Kg/cm<sup>2</sup> a 2.00 Kg/cm<sup>2</sup> para profundidades de cimentación de 1.00 a 1.20 m.

ZONA II, Zona de deposición en forma de plano inclinado con pendientes de 3° a 7°, conformada por estratos de grava con matriz limosa y arenosa, de compacidad suelta a media. En ciertas zonas se encuentran intercalaciones de tufos volcánicos. La capacidad portante para la cimentación superficial a la profundidad de cimentación de 1.00 m, sobre el terreno natural varia de

1.2 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.7 Kg/cm<sup>2</sup>. Es recomendable no cimentar en el material de relleno generado durante la nivelación del terreno a menos que éste hayasido convenientemente conformado.

ZONA III, A El terreno de fundación está conformado por un material granular de compacidad media suelta, el cual en algunas zonas se encuentra cubierto por estratos de rellenos de poca potencia. Subyaciendo a este material, en algunos casos a profundidades mayores a los 4.00 m, se encuentran estratos de arcillas limosas y arenosas de baja plasticidad, que presentan un moderado potencial de expansión. La capacidad de carga admisible para estructuras de interés social varia de 1.0 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.5 Kg/cm<sup>2</sup> a una profundidad de cimentación de 1.00 m. En el diseño decimentaciones en estos tipos de suelos se debe considerar la posibilidad de asentamientos diferenciales por un ligero comportamiento colapsable del material granular cementado, así como pequeños levantamientos porexpansión de las arcillas limosas.

ZONA III B, El terreno de fundación está conformada por estratos de arcillaslimosa y arena arcillosa, cubiertos por un material gravoso de 1.0 m de espesor en promedio. El material arcilloso tiene una consistencia rígida, baja humedad y alto potencial de expansión (hasta 18% de expansión libre y cargas de expansión de 4.35 Kg/cm<sup>2</sup> ). La capacidad admisible para estructuras de interés social varía de 0.8 Kg/cm<sup>2</sup> a 1.0 Kg/cm<sup>2</sup> en condiciones saturadas. En esta zona el problema de expansión de suelos es severo, por lo que se debe considerar su efecto en las cimentaciones para evitar el agrietamiento de las edificaciones.

ZONA IV, Esta zona está conformada por relleno superficial de material gravoso con matriz limosa, cuyo espesor varía de 0.20 m a 2.00 m, según su ubicación topográfica. El material subyacente está constituido predominantemente por gravas limpias, limosas y arcillosas, y en algunas zonas por arcillas limosas con propiedades expansivas. La topografía es bastante accidentada presentando pendientes mayores a los 70°, lo cual es un elemento desfavorable para su uso como área urbana. Esta zona es propensa a sufrir grandes amplificaciones sísmicas por efectos topográficos y posibles problemas de inestabilidad de taludes.

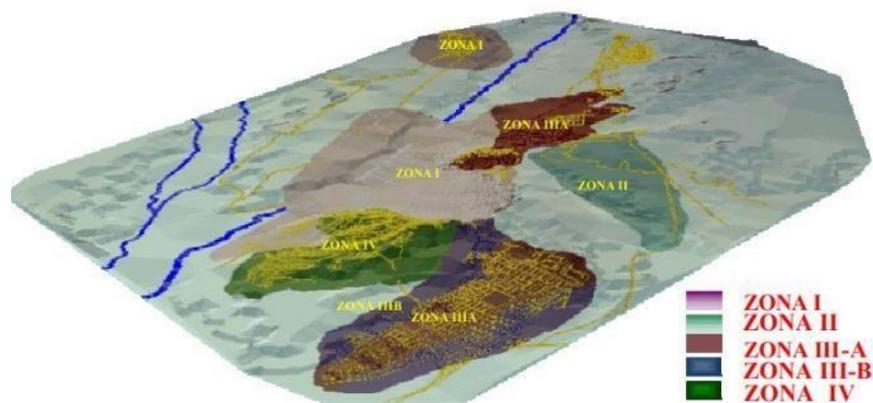


Figura N° 35: Zonificación Geotécnica

Fuente: Salas (2003)

d) Aplicación de modelos numéricos

Sanchez (2013) Actualmente existe una diversidad de programas para el modelamiento de redes de alcantarillado, desde los que son libres, caso SWMM y otros, hasta los comerciales, como MOUSE, SewerCAD, entre otros. Estos programas se diferencian por el sistema operativo (MS DOS, MS Windows, etcétera), interfase gráfica (GIS, CAD, propio u otro), componentes a modelar, cantidad de elementos a modelar (tuberías o nodos), tipos de análisis, diseño de redes (Automático o manual), método de cálculo usado para balancear la red y otras características.

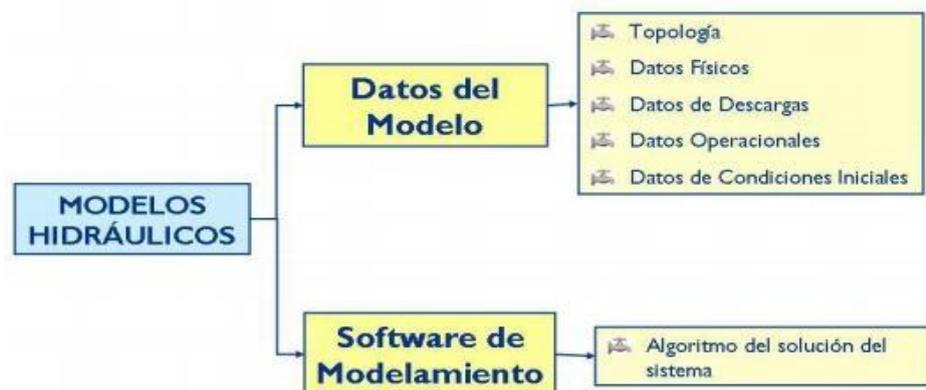


Figura N° 36: Partes de un modelo Hidráulico

Fuente: Sánchez (2013)

Stormwater Management Model (SWMM)

Manual del usuario de SWMM (2005) señala que el Modelo de Gestión de Aguas Pluviales (nombre del programa traducido al español) es un modelo de simulación de precipitaciones dinámico donde se pueden representar acontecimientos únicos o de periodo extendido de los flujos,

especialmente de los sistemas de alcantarillado urbanos (pluviales y/o sanitarios).

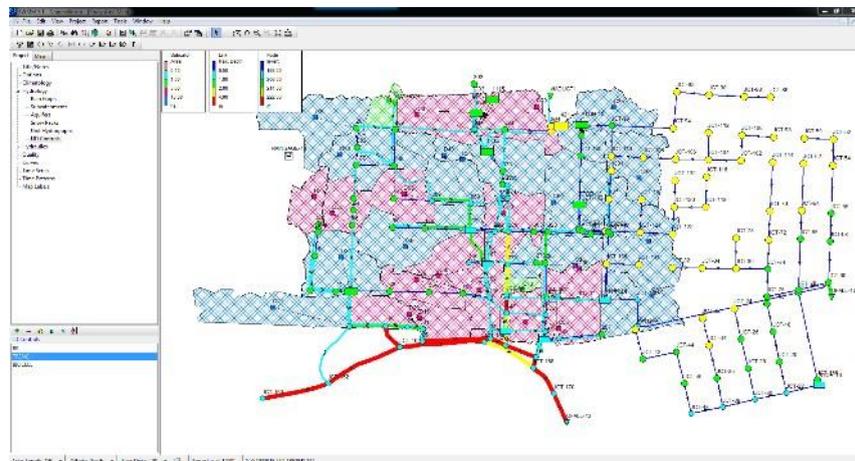


Figura N° 37: Modelado de alcantarillado sanitario con SWMM5

Fuente: SWMM (2021)

El modelo consta de dos módulos:

- Módulo de escorrentía o hidrológico

Realiza el análisis hidrológico de una determinada zona de estudio. Se calcula el caudal de escorrentía mediante una serie de cuencas y subcuencas definidas en el modelo.

- Módulo de transporte o hidráulico

Realiza la simulación del recorrido del flujo previamente calculadoo definido por el usuario. Se puede definir el sistema de transporte de los flujos, siendo tuberías, canales, dispositivos de tratamiento y almacenamiento, bombas, elementos reguladores.

El modelo también tiene la posibilidad de hacer seguimiento a la calidad del agua de escorrentía y su cantidad en sus respectivos sistemas de transporte durante las simulaciones definidas por el usuario en distintos intervalos de tiempo.

La edición actual del programa corresponde a su quinta versión (EPA SWMM 5), funciona bajo el sistema operativo Microsoft y ahora

proporciona resultados en grandes variedades de formatos, como isolíneas para el drenaje, gráficos, diagramas y análisis estadísticos. La última revisión del programa fue realizada por el Laboratorio de Investigación y Gerencia de Riesgo Nacional de Estados Unidos, que pertenece a la agencia de protección del medio ambiente, con la colaboración de la consultoría CDM, Inc.

### Cloacas

Hidrasoftware (2021) define a CLOACAS como un software de uso rápido e intuitivo que permite el cálculo hidráulico y dimensionamiento de los sistemas de alcantarillado urbanos.

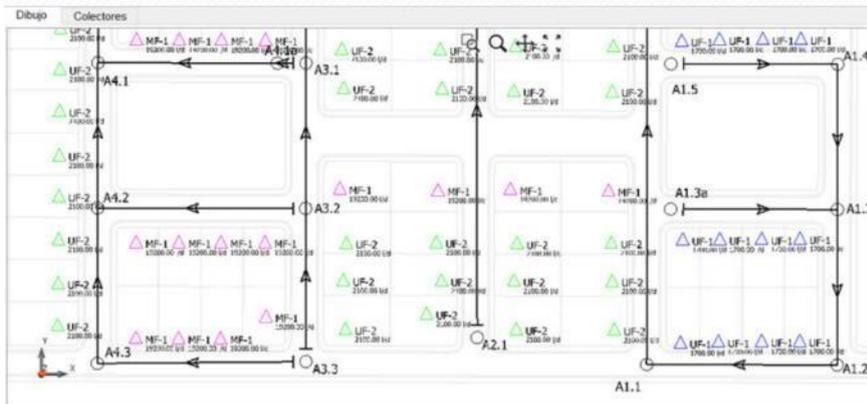


Figura N° 38: Modelado de alcantarillado sanitario con Cloacas

Fuente: Hidrasoftware (2021)

El programa incluye lo siguiente:

- Definición del trazo de las redes de alcantarillado gráficamente o importar las tuberías desde un archivo con formato DWG. Cuenta con una interfaz del tipo CAD, por lo que es sencillo de visualizar, utilizar y comprender. Se pueden analizar y revisar los resultados calculados.
- Cálculo de caudal del flujo residual por múltiples métodos. Es posible introducir el caudal en cada elemento de la red de forma directa e independiente, asignar un caudal unitario para que el caudal de diseño se calcule de forma automática con las áreas tributarias, asignar de forma específica el caudal medio de dotación para cada elemento de tubería, el programa incorpora una librería de dotaciones que se pueden asignar en cada tramo del sistema de alcantarillado.
- Asignar automáticamente las elevaciones. El programa cuenta con una opción para importar las curvas de nivel del levantamiento topográfico del proyecto, con ello es posible realizar el cálculo de los fondos de cota para los buzones según las pendientes de las tuberías de la red de alcantarillado.
- Cálculo de metrados y presupuestos, en el programa se pueden definirlos parámetros para calcular los volúmenes de corte y relleno de suelo, longitudes de tuberías, cantidad de buzones.

La edición actual del programa corresponde a su segunda versión (CLOACAS 2.0) y es desarrollado por la compañía española Hidrasoftware.

## Sewergems

Bentley (2017) lo define como un software de modelado de alcantarillado sanitario urbano y combinado. Tiene una interfaz amigable y un entorno intuitivo sencillo de utilizar. Con el software es posible planificar, analizar y optimizar los sistemas de alcantarillado urbanos (sanitario y/o pluvial), pudiendo reproducir inclusive sobreflujos e inundaciones en las simulaciones. Posee herramientas de análisis que permiten realizar cálculos hidrológicos e hidráulicos, así como diversos métodos para calibrar modelos lluvia-escorrentía. La compañía Bentley ofrece el servicio CONNECT para este software y otorga la ventaja de acceso simultáneo a los proyectos trabajados en SewerGEMS a cada miembro del equipo de trabajo.

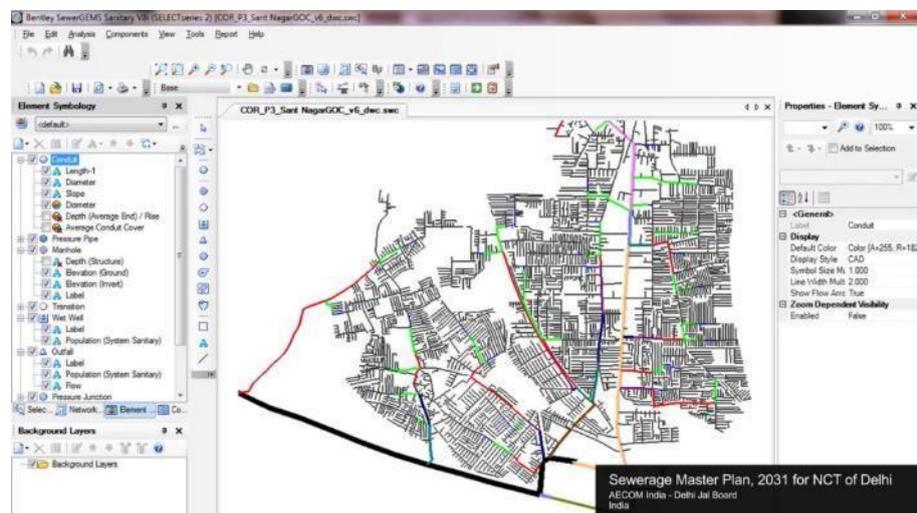


Figura N° 39: Diseño de alcantarillado sanitario con SewerGEMS

Fuente: Bentley (2021)

El software SewerGEMS tiene las siguientes ventajas:

- Interoperabilidad

El software ofrece compatibilidad con las siguientes plataformas: Windows, ArcGIS, Microstation, AutoCAD. Pudiendo importar los archivos en sus respectivos formatos.

- Modelado rápido

Debido a su gran interoperabilidad, se puede aprovechar la información de los dibujos en AutoCAD, información GIS (shapes con sus respectivos atributos), hojas de cálculo y bases de datos. El software ofrece sincronización con los programas que son compatibles, admitiendo cualquier formato de datos digital que contengan. A la vez, se cuentan con herramientas para modelar de forma manual las redes de alcantarillado y de revisión garantizando la coherencia del proyecto.

- Estimación y asignación de aguas residuales y pluviales

El software cuenta con una herramienta llamada Loadbuilder, que permite la importación de datos de sistemas de información geográfica, tales como ArcGIS, la gran variedad de archivos en formato shape y sus atributos permiten cargar datos de caudales, densidad poblacional, usos de suelo, entre otros. Se pueden definir hidrogramas para asignar las cargas sanitarias basados en cargas unitarias y patrones. Además, el software cuenta con una amplia biblioteca con diversos valores de cargas unitarias personalizables. Se pueden definir eventos de precipitaciones y realizar modelos con el caudal lluvia-escorrentía, se cuenta también con herramientas de distribución sintética de las precipitaciones.

La modelación y calibración de los caudales por escorrentía usan los métodos: racional modificado, RTK, SCS, SWMM (EPA), hidrogramas definidos por el usuario. Es posible también la modelación en base al aporte de conexión por propiedad.

- Gestión de modelos por escenarios

En un solo archivo de SewerGEMS, se pueden analizar una cantidad ilimitada de escenarios posibles. Esto da la oportunidad de optimizar el diseño y tomar decisiones adecuadas.

- Análisis avanzados

Es posible modelar las retenciones de escorrentía establecidos en las zonas urbanas antes de entrar al sistema de alcantarillado. También se puede determinar el riesgo de la rotura de tuberías, seguridad para los trabajadores y quejas por malos olores.

- Múltiples motores de cálculo

La resolución de ecuaciones de Saint Venant se puede realizar por medio del motor de cálculo EPA, basado en SWMM o el algoritmo de solución de onda dinámica. Ambos motores toman en cuenta los efectos de almacenamiento y sobreflujos.

El algoritmo de solución de flujo convexo gradualmente variado puede determinar los flujos por gravedad en las tuberías y con el caudal calculado se establecen las propiedades hidráulicas.

El algoritmo de solución de flujo racional gradualmente variado se basa en el método racional y determina el máximo flujo en los sistemas de drenaje fluvial

## SewerCad

Bentley (2017) señala que es un software de modelado para diseñar y analizar alcantarillados sanitarios. Permite a los usuarios realizar modelaciones de instalaciones hidráulicas fácilmente, sean conductos que trabajen a gravedad o por presión, basándose en un análisis en estado estático con variedad de estándares de factores de cresta y simulaciones con intervalos de tiempo definidos por el usuario. Este software es usado ampliamente a nivel mundial por diversas entidades de los sectores público y privado.

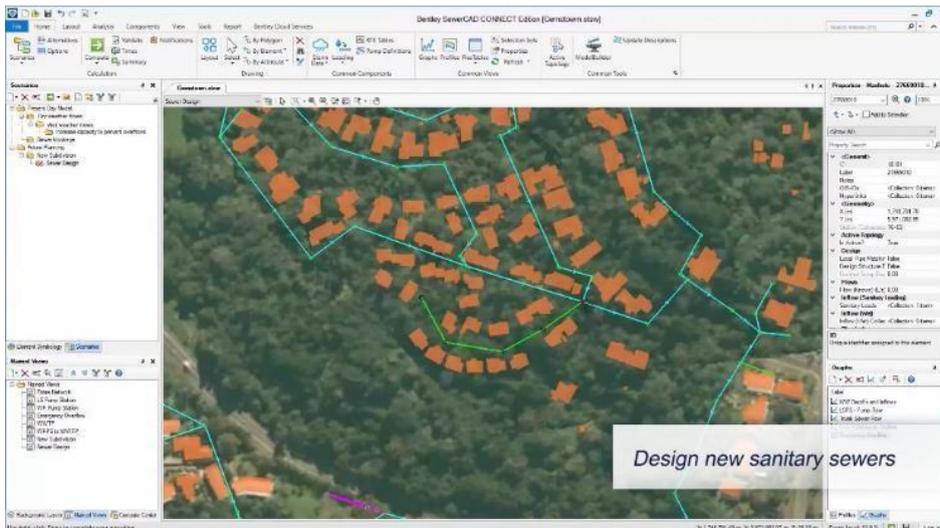


Figura N° 40: Diseño de alcantarillado sanitario con SewerCad

Fuente: Bentley (2021)

- Interoperabilidad

El software se puede usar de forma autónoma, a la vez es compatible con las plataformas AutoCAD, ArcGIS, MicroStation, SewerGEMS.

- Sistemas hidráulicos por presión y gravedad

El software soporta el modelado de elementos de la red de alcantarillado presurizados y por gravedad. Cuenta con un algoritmo de solución de flujos gradualmente variados para resolver las condiciones que se presenten, sean subcríticas, críticas o supercríticas; así como perfiles compuestos complejos. Las condiciones extremas del flujo son evaluadas por la simulación en estado estático, siendo posible calcular y desarrollar diseños de alcantarillado de forma automática. Mediante las simulaciones de periodos extendidos se puede observar el comportamiento del sistema propuesto. Todo resultado puede ser animado según el tiempo, detectando saltos hidráulicos y sobrecargas en determinados conductos.

- Asignación y estimación de cargas de aguas residuales, infiltraciones y afluentes

Al igual que el software SewerGEMS, cuenta con una herramienta llamada Loadbuilder, donde se puede importar información de fuentes GIS de todo tipo requerido para el proyecto y oportuno modelado de sistema de alcantarillado. También se cuenta con una biblioteca en la base de datos del programa con diversas unidades de carga sanitarias totalmente personalizable. El software cuenta con gran cantidad de fórmulas y tablas de factores de flujo extremos como Babbit, Harmon, Ten State y Federov; también es posible que el usuario introduzca sus propias fórmulas y tablas. El software toma en consideración las características de los elementos modelados y calcula la infiltración de tuberías por gravedad.

- Diseño automático de nuevos sistemas de alcantarillado sanitario y rehabilitación de los existentes

El software puede desarrollar de forma automática estructuras y tuberías por gravedad, basándose en el diseño por restricciones. Obteniendo valores de diámetros de tuberías y fondo de cotas de los buzones, optimizando el tiempo de diseño y evitando sobrecostos de movimiento de tierras e instalaciones.

- Centro de administración de escenarios completo

El software es flexible y permite total control al usuario para analizar libremente un número ilimitado de posibles escenarios en un solo archivo. Dando la facilidad de tomar mejores decisiones a nivel técnico, evaluando el uso de bombas, posibles rebalajes valores de caudales en los sistemas de alcantarillado modelados.

#### Diferencia entre SewerCad y SewerGEMS

Gutiérrez (2009) indica que las diferencias son las siguientes: SewerCad

- Es un programa de análisis y diseño de sistemas de drenaje urbano con énfasis en sistemas sanitarios, se basa en un algoritmo de cálculo de Flujo Gradualmente Variado (FGV).

- El motor de cálculo realiza un análisis de línea de energía del fluido a través del método estándar considerando las condiciones de flujo (Subcrítico, Crítico, o Supercrítico).
- Realiza análisis estáticos o cuasi-estáticos, siendo este el periodo extendido, donde se toma en cuenta el tiempo de transporte del flujo por efectos de la gravedad y otros en el sistema de alcantarillado en aquellas cargas variables en el tiempo.
- El análisis de Ruteo Convexo del software permite evaluar el caudal de entrada y salida en cada tramo.
- Realiza diseños automatizados (optimización de diámetros) de la red basado en criterios como: capacidad de las tuberías, y rangos mínimos y máximos de velocidad, pendiente y cobertura.

#### SewerGEMS

- Es un programa de análisis de sistemas de drenaje urbano que pueden ser sanitarios, pluviales y/o combinados. El modelo es completamente dinámico y de flujo no permanente.
- Ofrece dos motores de cálculo: un motor nativo denominado Dynamic Wave, cuya solución ha demostrado mayor estabilidad numérica en ciertas situaciones como alivios y estructuras de control, condiciones forzadas, flujo inverso, etc. Y el motor de cálculo EPA-SWWM.
- Es un software en esencia de simulación y comprobación de diseño. El motor dinámico de SewerGEMS no está concebido como un análisis de diseño optimizado.

#### Modelación de flujo constante

Dent et al (2005) indica que los modelos de flujo constante son aquellos en los que se usa un solo flujo y se resuelven para profundidad y velocidad utilizando técnicas uniformes o no uniformes. Al considerar el flujo en el tiempo y el espacio, el tipo de flujo más simple es el uniforme. El caudal no cambia con el tiempo, la profundidad del flujo no cambia en el espacio y las líneas de corriente son todas paralelas. Todos los términos de aceleración son cero, estando la fricción y gravedad en

perfecto balance. La ecuación de Manning es utilizada con frecuencia para determinar la velocidad  $\bar{v}$  de los flujos uniformes porque tanto la profundidad y caudal están relacionados por una curva de clasificación, a continuación, la ecuación de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R_h^2 * S^{1/2}$$

Donde:

Q: Caudal

n: Coeficiente de rugosidad Manning A: Área

Rh: Radio hidráulico S: Pendiente de canal

Si el flujo en una tubería de alcantarillado se acerca a una condición uniforme y estable, entonces la ecuación de Manning puede dar resultados razonables. Sin embargo, las tuberías de alcantarillado reales experimentan con frecuencia una variedad de condiciones de flujo donde se viola el principio de uniformidad y se requieren las técnicas de solución no uniformes, que son más completas. Las condiciones no uniformes toman en cuenta que un solo flujo generalmente exhibirá diferentes profundidades a lo largo de un tramo de tubería.

El flujo gradualmente variado puede ser constante o inestable en el tiempo. El flujo constante y gradualmente variado requiere cálculos más allá de la ecuación de Manning para resolver la profundidad y la velocidad en un canal. El método del paso se ha desarrollado para resolver la ecuación de flujo gradualmente variado. La integración numérica es necesaria porque las ecuaciones generalmente no son explícitamente solubles. Dos soluciones comunes de este método son el método de paso directo y el estándar. Estos métodos se pueden utilizar para resolver el cambio de profundidades y velocidades para un flujo dado a lo largo de un canal abierto (o tubería si el flujo no se sobrecarga más allá de la corona de la tubería). Dos modelos comerciales que utilizan el método de paso directo son SewerCAD y StormCAD, ambos por Bentley Systems.

Modelación de flujo dinámico

Dent et al (2005) el tipo de flujo computacionalmente más complejo para un canal de una dimensión es el inestable (dinámico), que es en términos prácticos, también no uniforme. El flujo gradualmente variado puede ser resuelto usando modelos de ruta donde los caudales y niveles de agua son definidos como funciones del espacio y tiempo. La gran mayoría de modelos de alcantarillado en la industria hoy utilizan el ruteo de flujo distribuido y son resueltos con las ecuaciones de Saint-Venant.

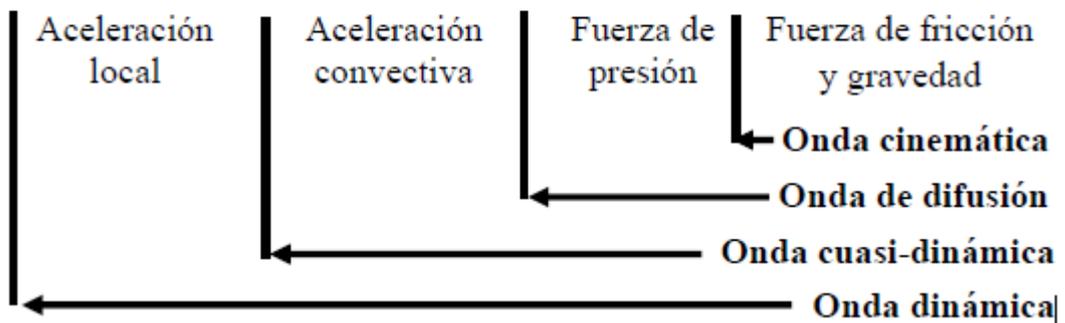
Las ecuaciones de Saint-Venant describen a un flujo dinámico en un canal unidimensional, donde la profundidad y velocidad sólo varían en la dirección longitudinal del canal. La pendiente del fondo de canal es pequeña y la ecuación de Manning puede usarse para describir efectos de resistencia. Una razón principal de la importancia de estas ecuaciones para el modelado de ruteo del flujo es porque las ondas (una variación de energía en tiempo y espacio) pueden ser propagadas aguas arriba y aguas abajo en flujos gradualmente variados, y las ecuaciones de Saint-Venant pueden estimar la celeración de onda (velocidad de una onda a lo largo del canal). A continuación, las ecuaciones de Saint-Venant.

Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Ecuación de momentum:

$$\frac{1}{A} * \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} * \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_o - S_f) = 0$$



Donde:

Q: Caudal

A: Área

t: Tiempo

x: Distancia

y: Profundidad

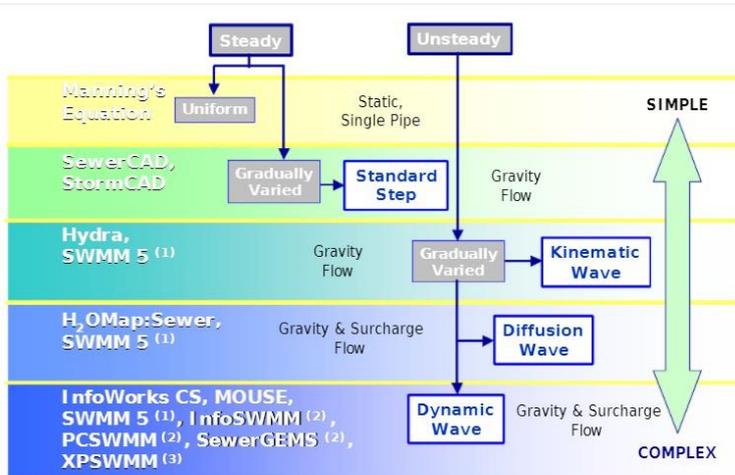
So: Pendiente de tubería

Sf: Pendiente de fricción (pendiente de línea gradiente)

Las ecuaciones de Saint-Venant son ecuaciones diferenciales parciales que describen un flujo gradualmente variado unidimensional. Desafortunadamente, no se pueden solucionar por métodos analíticos y, por lo tanto, se resuelven por aproximaciones numéricas. El método

común es el de elementos finitos y puede emplear dos esquemas: el esquema explícito, donde las incógnitas se resuelven de forma secuencial; y el esquema implícito, donde las incógnitas se resuelven de forma simultánea. El método explícito es un proceso iterativo y de alguna manera más simple de implementar en un programa de computadora, pero puede producir resultados inestables. El método implícito es más complicado desde una perspectiva de programación, pero de forma general brinda soluciones más estables y se pueden realizar simulaciones más rápido que por el método explícito. En la actualidad, el método implícito es el de uso más común en modelos de flujo distribuido.

Muchos modelos de ruta de flujo distribuido en el mercado hoy en día incluyen la resolución de ondas dinámicas, así como opciones de modelar las ondas cuasi-dinámicas o de difusión para redes de alcantarillado. Algunos de ellos son: SewerGEMS, SWMM5, MOUSE, Infoworks, entre otros.



Notes:

- (1) SWMM 5 has four solution routine options, which include kinematic wave, diffusion wave, quasi-dynamic wave, and fully dynamic wave. The dynamic wave section of this graphic encompasses both the quasi and fully dynamic wave solutions.
- (2) PCSWMM, InfoSWMM and SewerGEMS utilize the SWMM 5 engine.
- (3) XPSWMM utilizes a modified SWMM engine.

Figura N° 41: Caracterización de métodos de solución hidráulica alcantarillado

Fuente: Dent et al (2005)

### 2.3 Definición de términos básicos

- Colector: Conducto del sistema de alcantarillado público en el cual se vierten los flujos de aguas residuales.
- Tubería principal: Colector que recibe las aguas residuales provenientes de los ramales condominales.
- Ramal condominal: Colector ubicado en el frente del lote, que recibe las aguas residuales provenientes de un condominio y descarga en la tubería principal de alcantarillado.
- Caja condominal: Cámara de inspección ubicada en el trazo del ramal condominal, destinada a la inspección y mantenimiento del mismo.
- Tensión Tractiva: Presión ejercida por el fluido sobre el material depositado en el canal.
- Pendiente Mínima: Valor mínimo de la pendiente determinada utilizando el criterio de tensión tractiva que produce la limpieza de la tubería por arrastre de partículas.

- Profundidad: Distancia vertical entre el nivel de terreno natural y el extremo inferior externo de la tubería.
- Recubrimiento: Distancia vertical entre el nivel de terreno natural y el extremo superior externo de la tubería.
- Conexión domiciliaria de alcantarillado: Conjunto de elementos sanitarios instalados con la finalidad de permitir la evacuación del agua residual proveniente de cada lote.
- Aguas residuales industriales: Son aquellas aguas residuales producidas por actividad industrial o proceso productivo, pudiendo ser: agrícola, agroindustrial, energética, minera, etc.
- Aguas residuales domésticas: Aguas residuales provenientes de las viviendas y comercios, contienen desechos de actividades humanas y deben ser evacuadas convenientemente.
- Aguas residuales municipales: Aguas residuales de origen doméstico, pluvial e industrial adecuadamente tratado, cuya mezcla es admitida en un sistema de alcantarillado combinado.
- Saneamiento básico: Sistema de evacuación de aguas residuales económico que permite un entorno saludable para los usuarios del servicio.

## **CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS**

### **3.1 Hipótesis**

#### **3.1.1 Hipótesis principal**

La ampliación del sistema de red de alcantarillado sanitario del distrito Moquegua, centro poblado San Francisco – Moquegua beneficiará a los pobladores de la zona y mejorará su calidad de vida. Se realizará a partir de las características topográficas y análisis técnico e hidráulico con la ayuda de modelos numérico.

#### **3.1.2 Hipótesis secundarias**

La topografía de la zona de investigación es accidentada, teniendo pendientes variables y elevadas, debido a que se encuentra en la cima de un cerro.

La simulación de la red ampliada de alcantarillado se realizará con el software SewerCad. Aproximadamente el caudal residual total es 5 l/s.

La ampliación del sistema de alcantarillado del poblado San Francisco se analizará con el software SewerCad. En el que integra una serie de variables hidráulicas y estructurales.

### **3.2 Variables**

#### **3.2.1 Definición conceptual de variables**

Variable independiente

Según Borja (2012), la variable independiente es aquella que produce efecto o es la causa de la variable dependiente.

En la presente tesis se tiene la siguiente variable independiente:

- Sistema de alcantarillado

Variable dependiente

Según Borja (2012), la variable dependiente es el resultado o efecto producido por la acción de la variable independiente.

En la presente tesis se tiene la siguiente variable dependiente:

Centro poblado San Francisco

### **3.2.2 Operacionalización de variables**

Según Borja (2012), la operacionalización de variables es el proceso mediante el cual se explica cómo se medirán las variables formuladas en la hipótesis, para lo cual en muchos casos habrá que descomponerlas en indicadores susceptibles de poder medirse.

En el Anexo 1 se muestra la matriz de operacionalización de variables de la presente tesis.

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO**

### **4.1 Tipo y nivel**

#### **4.1.1 Tipo de investigación**

La investigación aplicada busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática. Está más interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal. Los proyectos de ingeniería civil están ubicados dentro de este tipo de clasificación, siempre y cuando solucionen alguna problemática. (Borja, 2012, p.10)

El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente donde el orden es riguroso, se parte de una idea que va acotándose, se derivan objetivos y preguntas de investigación, luego se revisa la literatura y se construye un marco teórico. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones. (Sampieri, 2014, p.36)

La presente investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo.

#### **4.1.2 Nivel de investigación**

En referencia al alcance descriptivo, con frecuencia, la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan. Se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales, se centra en explicar por

qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da éste, o por qué dos o más variables están relacionadas. (Sampieri, 2014, p.92)

La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de la hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos. (Arias, 2012, p.26)

La presente investigación fue de nivel descriptivo y explicativo, puesto que busca describir a las variables haciendo referencia a sus características, cualidades, propiedades y rasgos esenciales. Mostrando con precisión las dimensiones del objeto de estudio.

## **4.2 Diseño de investigación**

“El diseño de investigación no experimental se basa en la obtención de información sin manipular los valores de las variables, es decir tal y como se manifiestan las variables en la realidad”. (Borja, 2012, p.29)

“El diseño transversal es aquel donde se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y su incidencia de interrelación en un momento dado”. (Sampieri, 2014, p.129)

La presente investigación fue no experimental con diseño transversal, debido a que se analizarán las variables sin alterarlas y sólo en un momento determinado.

## **4.3 Población y muestra**

### **4.3.1 Población**

La totalidad de un fenómeno de estudio incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de población que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrando un conjunto

N de entidades que participan de una determinada característica, y se le denomina población por constituir la totalidad del fenómeno adscrito a un estudio o investigación. (Tamayo, 2004, p.176)

La población de la presente investigación fueron todos los sistemas de alcantarillado que requieran ser ampliados en el distrito de Moquegua.

#### **4.3.2 Muestra**

“A partir de la población cuantificada para una investigación se determina la muestra, cuando no es posible medir cada una de las entidades de población; esta muestra se considera representativa de la población”. (Tamayo, 2004, p.176)

La muestra de la presente investigación fue el sistema de alcantarillado sanitario del centro poblado San Francisco, cuya cobertura no satisface la demanda de 241 lotes, siendo aproximadamente 892 habitantes.

La muestra se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

### **4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos**

Técnicas

“Las técnicas de recolección de datos comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación”. (Hurtado, 2008, p.153) “La observación directa es aquella en la cual el investigador puede observar y recoger datos mediante la observación”. (Tamayo, 2004, p.193)

Se empleó el método de observación directa no participante para la recolección de datos.

## Instrumentos

Los instrumentos considerados en la presente investigación fueron:

- Expediente técnico de alcantarillado sanitario de distrito Moquegua
- Norma Técnica Peruana OS.070 (2009) "Redes de aguas residuales"
- Datos del INEI sobre el censo del 2016
- Plano topográfico de la zona de estudio
- Software SewerCad versión 10.01.00.70.
- Hojas de cálculo de Microsoft Excel 2019.
- Software Civil 3D 2021
- Software ArcGIS 10.8

### **4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos**

En la presente investigación se utilizaron datos recabados de fuentes gubernamentales confiables como el Instituto Nacional de Estadística e Informática, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú y el Instituto Geográfico Nacional. La Norma Técnica Peruana OS.070 (2009) actual y vigente, utilizada para todo proyecto de saneamiento a nivel

nacional, que contiene los requisitos mínimos a los cuales deben sujetarse los proyectos y obras de infraestructura sanitaria. Así como también los softwares utilizados cuentan con la garantía de sus respectivas compañías: Bentley Systems, Inc., Autodesk y Microsoft. Todas reconocidas a nivel internacional por la confiabilidad de sus productos.

#### 4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos

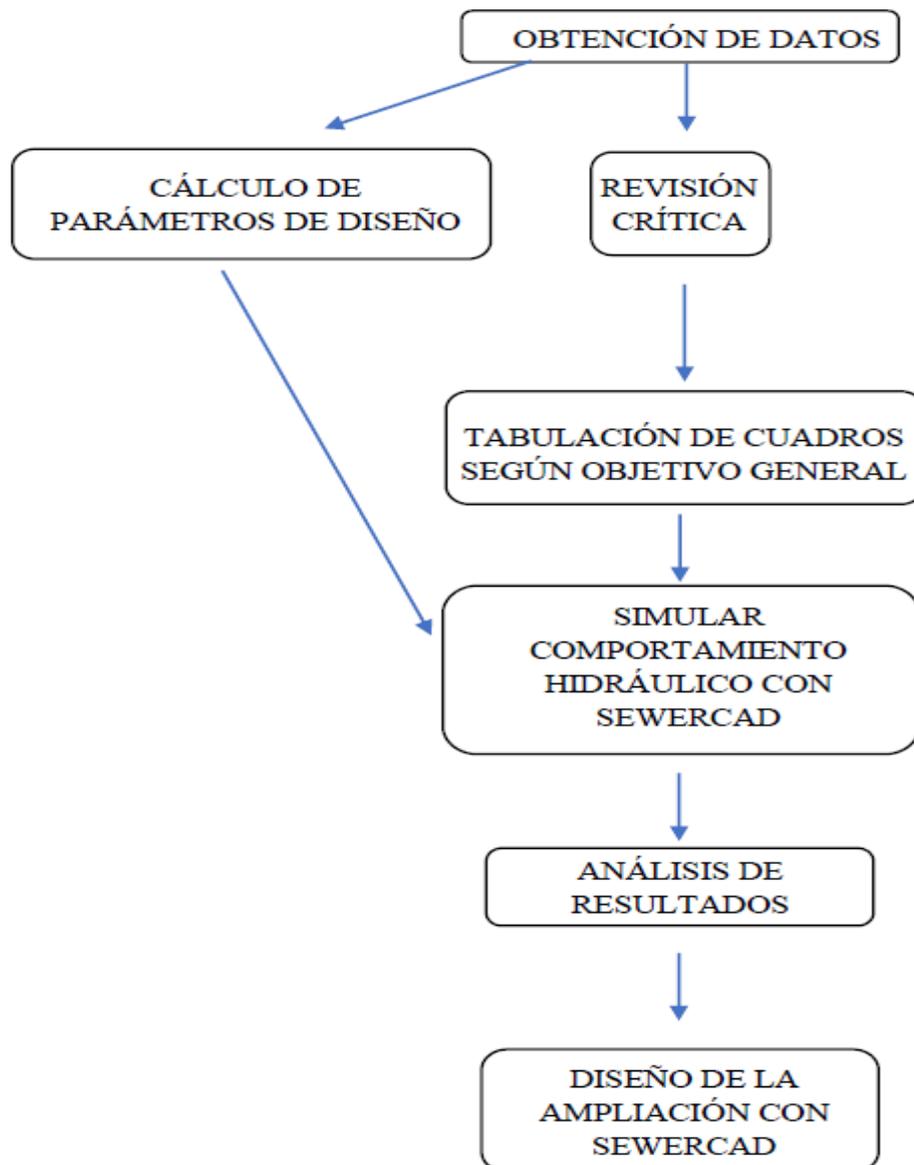


Figura N° 42: Diagrama de flujo de procedimiento para recolección de datos

Fuente: Elaboración propia

En el desarrollo de la investigación hay aspectos del mismo que no pueden cubrirse, que escapan a las posibilidades y a priori se saben inalcanzables, dentro de estas fronteras conceptuales tenemos:

#### Limitación teórica

Se encuentra falta de investigaciones similares a la nuestra por la zona de estudio, tal punto nos pudiese haber servido como referencia.

#### Limitación metodológica

La recolección de datos en su totalidad es recabada por medios digitales por lo cual depende que dicha información sea la actualizada.

#### Limitación de gestión

Por la coyuntura de pandemia del COVID 19 hay restricciones para acceder a la zona del Centro Poblado San Francisco.

### **4.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

“El propósito del análisis es aplicar un conjunto de estrategias y técnicas que le permiten al investigador obtener el conocimiento que estaba buscando, a partir del adecuado tratamiento de los datos recogidos”. (Hurtado, 2008, p.181)

Con la caracterización de la topografía se determinaron las pendientes propias de la zona de investigación, permitiendo realizar el trazo adecuado de la red de alcantarillado, ya que el sistema propuesto funciona a favor de la gravedad. Así como también se determinó el caudal residual de diseño correspondiente a la población proyectada para un periodo de 25 años. Posteriormente se realizó el análisis hidráulico empleando el software SewerCad, donde se verificó el cumplimiento de la normativa técnica vigente y se propuso el diámetro adecuado para los colectores y buzones que conformaron la ampliación del sistema de alcantarillado.

La matriz de consistencia se encuentra en el Anexo 2.

# CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

## 5.1 Caracterización de la topografía en el Centro Poblado San Francisco

El plano topográfico completo de la superficie del Centro Poblado San Francisco, distrito Moquegua, se encuentra adjunta en el Anexo 4. Teniendo curvas de nivel cada 1m de elevación y escala 1:3000.

Para este capítulo se consideró conveniente emplear sólo el área de la superficie de la zona de estudio sujeto a la ampliación del sistema de alcantarillado sanitario del plano topográfico.

La zona de investigación se encuentra ubicada en el cerro del Centro Poblado San Francisco, variando las cotas de elevación desde 1430 hasta 1470 msnm en un área de 128000m<sup>2</sup> (12.8 ha) aproximadamente. En consecuencia, se tienen pendientes variables llegando a tener valores de 80% de inclinación. La topografía de la zona de investigación se detalla en los planos siguientes, cada uno tiene tamaño de hoja A4, escala 1:3000 con curvas de nivel cada 1 m de elevación según Normativa Peruana de Redes de aguas residuales OS.070.

- Plano 1: Topografía de la zona de investigación con curvas de nivel cada 1m a escala 1:3000.
- Plano 2: Pendientes de la zona de investigación a escala 1:3000.
- Plano 3: Topografía de la zona de investigación con curvas de nivel cada 1m y calles a escala 1:3000.

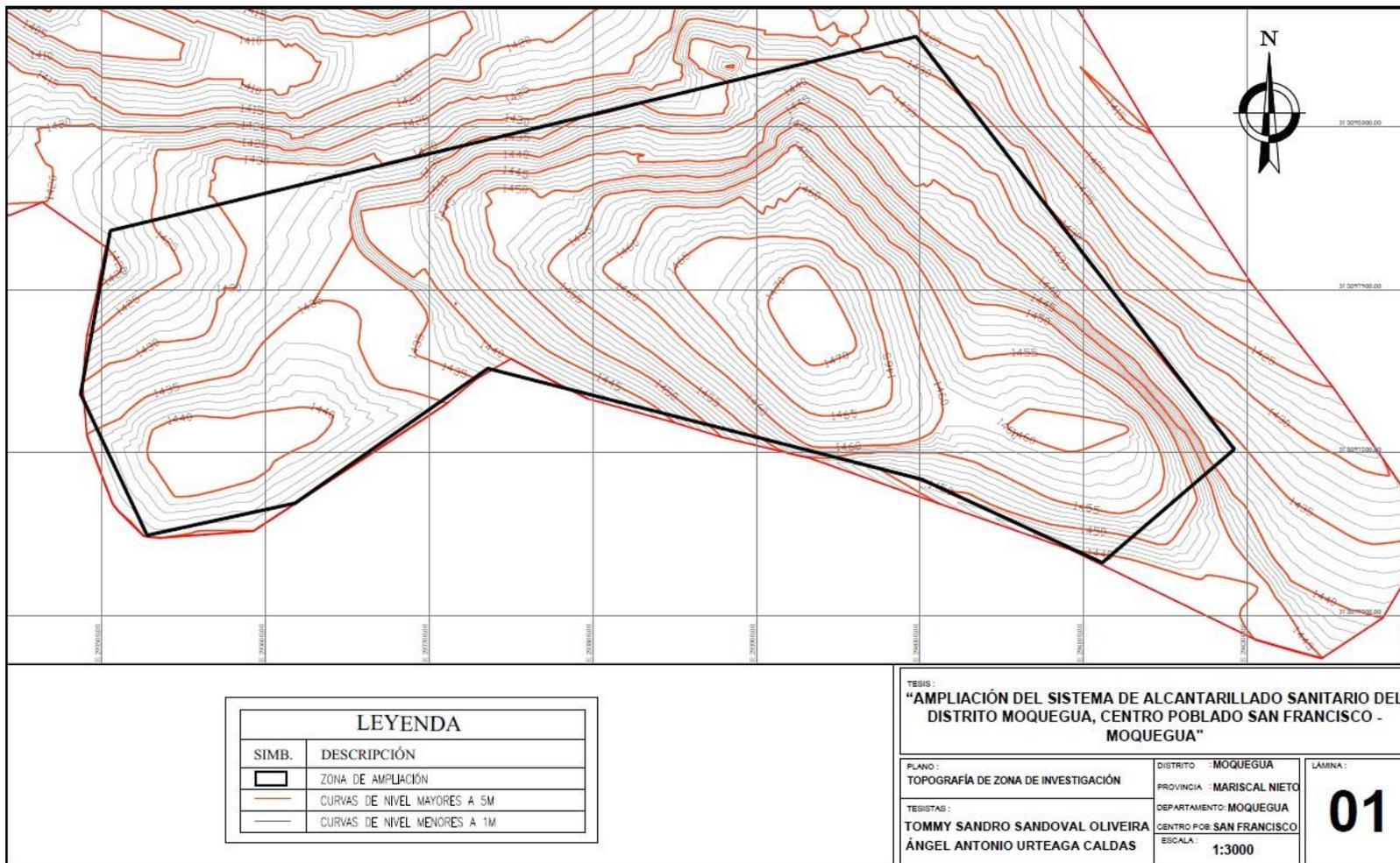


Figura N° 43: Topografía de la zona de investigación

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

Para representar el plano de pendientes, se creó un mapa temático con las pendientes representativas de la zona de investigación diferenciadas por color. La leyenda se muestra a continuación:

N°	Pendiente Mínima	Pendiente Máxima	Color
1	0.00%	5.00%	Amarelo
2	5.00%	10.00%	Verde claro
3	10.00%	15.00%	Verde medio
4	15.00%	20.00%	Verde oscuro
5	20.00%	25.00%	Cian
6	25.00%	30.00%	Azul claro
7	30.00%	35.00%	Azul oscuro
8	35.00%	40.00%	Púrpura
9	40.00%	45.00%	Rosa
10	45.00%	50.00%	Rojo

Figura N° 44: Leyenda de pendientes de la zona de investigación

Fuente: Elaboración propia

La zona de investigación tiene pendientes muy variables debido a que se encuentra en un cerro y las laderas son pronunciadas. La mayor pendiente es de 74.8% y está señalado con flechas en el plano representativo, sin embargo, no existen calles ni viviendas en esa ladera. La menor pendiente es de 1.5% y corresponde a la zona plana del cerro, donde están ubicadas las viviendas. La pendiente representativa es del orden de 15 a 20%, que en su mayoría corresponden a las calles y vía pública del centro poblado.

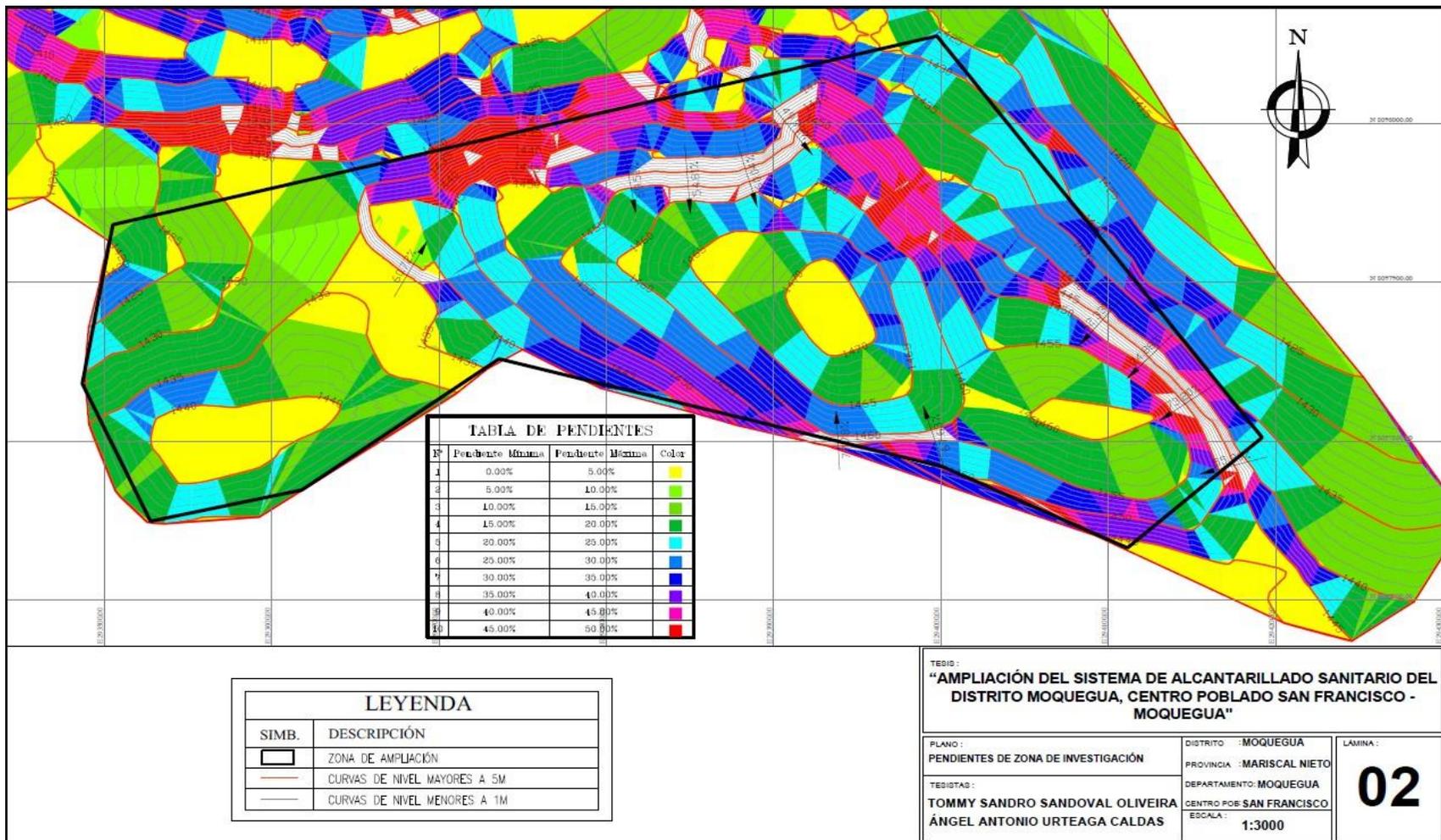


Figura N° 45: Pendientes de la zona de investigación

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

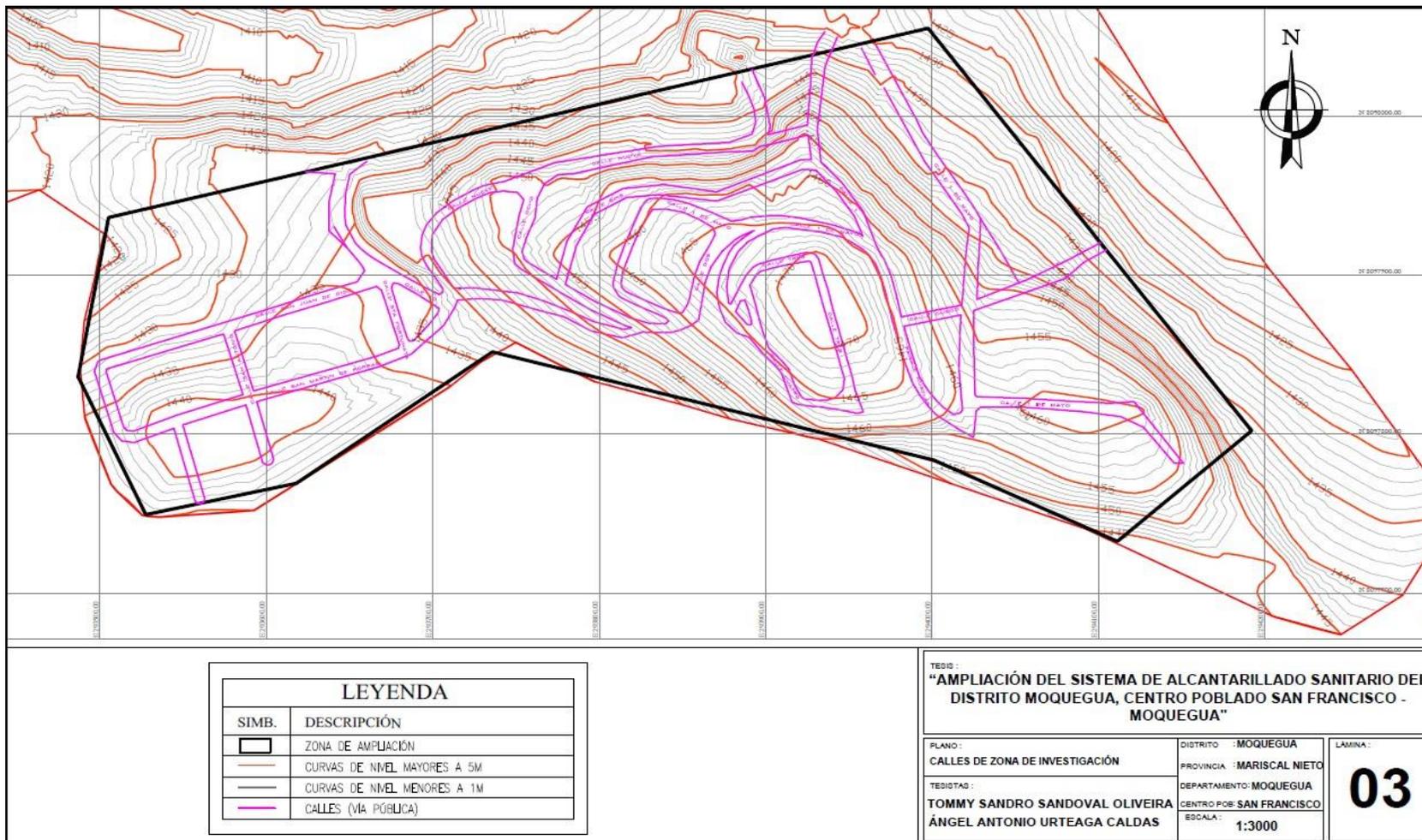


Figura N° 46: Calles de la zona de investigación

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

## 5.2 Caudal residual del centro poblado San Francisco

### 5.2.1 Número de habitantes

INEI (2017) A nivel departamental Moquegua tienen porcentajes superiores al 96,0% de viviendas particulares con un solo hogar, INEI (2013) en el Perú en la zona urbana la Composición de hogares (ho) por unidad familiar es de

3.7 miembros en promedio, según fig 42 se tiene 10 manzanas (Mz) en expansión, y un total de 241 lotes (L) por manzana:

$$H = ho \times Lt = 3.7 \times 241$$

$$H = 892$$

Sea:

H: Número de habitantes

ho: habitantes por vivienda

Lt: Lotes en total

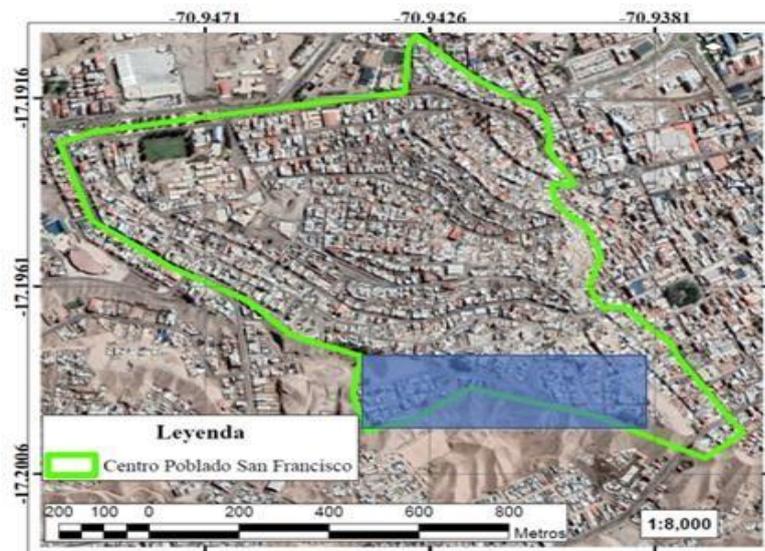


Figura N° 47. Sombreado en azul de la zona en expansión del centro poblado

Fuente: Elaboración propia usando ArcGIS 10.8

### 5.2.2 Análisis de población Futura

Se proyectó el caudal para una población futura teniendo en consideración la tasa de crecimiento poblacional de 0,8 por ciento (INEI 2017) y proyectándolo a 20 años.

#### a) Normativa Española

En España, el cálculo de estos caudales se rige por las Instrucciones para la redacción de proyectos de Abastecimiento y Saneamiento de agua (MOPMA).

Teniendo:

$$H_t = H_0 (1 + \alpha)^t$$

$$H_t = 892 (1 + 0.01)^{20}$$

$$H_t = 1088 \text{ hab.}$$

Donde:

$H_t$ : Población a tiempo  $t$

$H_0$ : Población al momento de realizar el estudio

$t$ : Tiempo

$\alpha$ : Coeficiente de crecimiento poblacional

#### b) Normativa Peruana

La estimación futura de la población es un escenario hipotético de lo que ocurriría con la dinámica demográfica de un país o región, teniendo en cuenta la norma peruana se aplica el método aritmético.

$$P_t = P_0(1+r.t)$$

Teniendo:

$$P_f=892(1+0.01 \times 20)$$

$$P_f=1071 \text{ hab.}$$

Donde:

Pf: Población Final

Po: Población inicial

r: tasa de crecimiento

t: Tiempo

Normativa Boliviana

Norma Boliviana NB 688. Para el crecimiento de la población se tiene que, en el caso de no contar con índice de crecimiento poblacional, se debe adoptar el índice de crecimiento de la población de la capital o del municipio. Si el índice de crecimiento fuera negativo se debe adoptar como mínimo un índice de crecimiento de 1%.

$$P_f=P_0 \cdot e^{r \cdot t}$$

Teniendo:

$$P_f=892 \times e^{0.01 \times 20}$$

$$P_f=1090 \text{ hab.}$$

Donde:

Pf: Población Final

Po: Población inicial

r: tasa de crecimiento

t: Tiempo

c) Metodo curva logistica

La función logística, curva logística o curva en forma de S es una función matemática que aparece en diversos modelos de crecimiento de poblaciones.

Teniendo en cuenta los últimos censos INEI:

Tabla N° 4: Últimos censos INEI

Año	Población dpto. Moquegua
2005	159 306 hab.
2007	161 533 hab.
2017	174 863 hab.

Fuente: Elaboración propia

-Poblacion de saturacion:

$$S = \frac{2P_0P_1P_2 - P_1^2(P_0 + P_2)}{P_0P_2 - P_1^2}$$

Teniendo:

$$S = \frac{2 \times 159\,306 \times 161\,533 \times 174\,863 - 161\,533^2(159\,306 + 174\,863)}{159\,306 \times 174\,863 - 161\,533^2}$$

$$S = 158\,814 \text{ hab.}$$

Donde:

S: Población de saturación

P<sub>2</sub>: Población en el último censo

-Para la proyección de población futura aplicamos Ecuación de Pearl:

$$P = \frac{S}{1 + me^{-bt}}$$

Teniendo:

$$P = \frac{158\,814}{1 + 0.57e^{-0.12(25)}}$$

$$P = 154\,431 \text{ hab.}$$

Donde:

S: Población futura

P<sub>2</sub>: Población en el último censo : Tiempo

m, b, constantes 0.57 y 0.12 respectivamente

Debido a que no tenemos datos desagregados de cada centro poblado en los censos nacionales, se determina el porcentaje del centro poblado San Francisco en relación al departamento de Moquegua siendo el 0.25 % de este último por tanto en la distribución de la curva logística será:

$$P = 154\,431 \text{ hab.} \times 0.25\%$$

$$P = 386 \text{ hab.}$$

d) Tabla comparativa

Según los resultados presentados se presenta la Tabla N°5 comparativa:

Tabla N° 5: Comparativa de población proyectada

Método	Norma	Norma	Norma	Curva
	español	peruana	boliviana	logística
	a			
Población				

proyectada	1088	1071	1090	386
en				
habitantes				

Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo de la población futura se elige la norma boliviana que es una proyección exponencial, teniendo en 20 años una población futura de 1090 habitantes.

### 5.2.3 Dotación

RNE OS.100 (2009) La dotación promedio diaria anual por habitante se fijará en base a un estudio de consumos técnicamente justificado, sustentado en informaciones estadísticas comprobadas. Si se comprobara la no existencia de estudios de consumo y no se justificará su ejecución se podrá asumir algunos valores. Zonas urbanas Lotes mayores a 90 m<sup>2</sup> para Climas fríos: (180 l/hab día).

### 5.2.4 Estimación de caudal medio

Los caudales de aguas residuales domésticas se calcularán a partir de las dotaciones de agua potable actuales y futuras para el año horizonte Según RNEOS.100 (2009):

$$Q_m = \frac{(HxDd)}{86400}$$

Teniendo:

$$Q_m = \frac{(1090 \times 180)}{86400}$$

$$Q_m = 2.24 \text{ l/s}$$

Donde:

Qm: Caudal medio

H: Habitantes proyección a 20 años

Dd: dotación, l/hab día

### 5.2.5 Coeficiente de retorno

Estudios estadísticos han estimado el porcentaje de agua abastecida que llega a la red de alcantarillado. Este coeficiente oscila entre el 60% y 80% de la dotación de agua potable, según la norma peruana es de un 80% RNE OS.100 (2009)

$$Q_f = Q_m \times C$$

$$Q_f = 2.27 \text{ l/s} \times 80\%$$

$$Q_f = 1.81 \text{ l/s}$$

Donde:

Q<sub>f</sub>: Caudal de retorno

Q<sub>m</sub>: Caudal medio

C: Coeficiente de retorno

### 5.2.6 Caudal de infiltración

Sea por longitud de la red, Norma Boliviana NB 688. Se deberá considerar la infiltración de aguas subterráneas principalmente freáticas a través de fisuras en los colectores, juntas mal ejecutadas y en la unión de colectores con las cámaras de inspección y en las mismas cámaras cuando no son estancas. Los valores de infiltración serán considerados conforme a lo establecido en el numeral 2.3.5.5 – Capítulo II de la Norma Boliviana NB 688.

Tabla N° 6: Valores de infiltración en tuberías según tipo de unión

Nivel freático	Tuberías de hormigón		Tuberías de material plástico	
	Hormigón	Anillo de goma	Pegamento	Anillo goma
Bajo	0.0005	0.0002	0.0001	0.00005
Alto	0.0008	0.0002	0.0002	0.0005

Fuente: Obtenido de la Norma Boliviana NB 688

En el caso del centro poblado San Francisco el valor por metro lineal será de 0.00005 teniendo:

$$I_1 = 0.00005 \times L$$

$$I_1 = 0.00005 \frac{1}{s \times m} \times 2722 \text{ m}$$

$$I = 0.14 \text{ l/s}$$

Donde:

$I_1$ : Caudal de infiltración por longitud de red

L: longitud de tuberías

Sea por número de buzones en la red, se multiplica por el factor 0 0043 l/s

,Aduviri et al (2018)

$$I_2=0.0043 \text{ l/s} \times B$$

$$I_2=0.0043 \text{ l/s} \times 67$$

$$I_2 = 0.29 \text{ l/s}$$

Donde:

$I_2$ : Caudal de infiltración por buzón

B: Numero de buzones

Caudal de infiltración total

$$I=I_1+ I_2$$

$$I=0.14 \text{ l/s}+ 0.29 \text{ l/s}$$

$$I= 0.43 \text{ l/s}$$

Donde:

I: Caudal de infiltración

$I_1$ : Caudal de infiltración por longitud de red

$I_2$ : Caudal de infiltración por buzón

### **5.2.7 Caudal por conexiones erradas, considerando el valor de 10 %**

$$Q_e=Q_f \times 0.10$$

$$Q_e=1.81 \text{ l/s} \times 0.10$$

$$Q_e=0.18 \text{ l/s}$$

Donde:

$Q_e$ : Caudal por conexiones erradas

$Q_f$ : Caudal de retorno

### 5.2.8 Caudal de residual

Teniendo en cuenta solo los caudales domésticos, se le adiciona el caudal por infiltración.

$$Q_r = Q_f + I + Q_e$$

$$Q_r = 1.81 \text{ l/s} + 0.43 \text{ l/s} + 0.18 \text{ l/s}$$

$$Q_r = 2.42 \text{ l/s}$$

## 5.3 Modelación

### 5.3.1 Consideraciones para el diseño

Se toma en consideración los siguientes puntos

- Velocidad mínima: 0.60 m/s
- Velocidad máxima: 5.00 m/s
- Porcentaje de llenado de tubería: 75%
- Tensión tractiva mínima de diseño: 1 Pa.

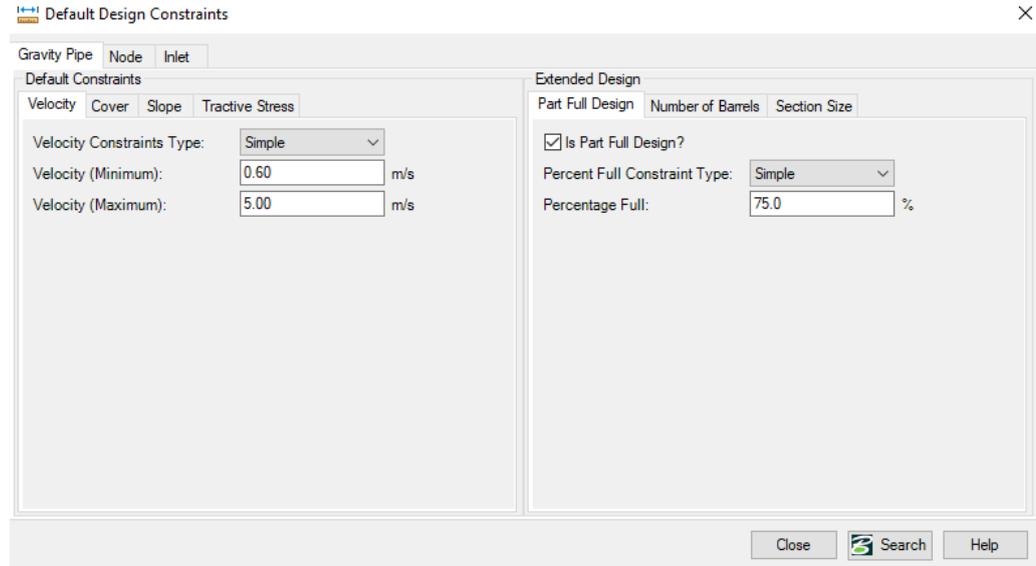


Figura N° 48. Valores límites de velocidad

Fuente: Elaboración propia usando SewerCad 10.01.00.70.

### 5.3.2 Modelación estática

Se realizó un análisis de flujo permanente a la propuesta de ampliación de la red de alcantarillado. A continuación, se muestran los resultados en tablas y gráficos de perfiles.

Tabla N° 7: Resultado de análisis de flujo permanente en buzones

Buzón	Cota de terreno (m)	Cota de fondo (m)	Profundidad (m)	Caudal entrada (L/s)	Caudal salida (L/s)	Diámetro (mm)
BZ-1	1,438.53	1,437.38	1.15	0.00	0.03	1,200.00
BZ-2	1,440.00	1,437.17	2.83	0.05	0.12	1,200.00
BZ-3	1,439.64	1,438.49	1.15	0.00	0.01	1,200.00
BZ-4	1,440.00	1,436.94	3.06	0.14	0.20	1,200.00
BZ-5	1,439.13	1,437.98	1.15	0.00	0.02	1,200.00
BZ-6	1,432.29	1,429.56	2.73	0.28	0.32	1,200.00
BZ-7	1,437.66	1,434.03	3.64	0.00	0.01	1,200.00
BZ-8	1,431.12	1,429.96	1.15	0.01	0.04	1,200.00
BZ-9	1,432.19	1,429.76	2.42	0.04	0.07	1,200.00
BZ-10	1,435.28	1,429.32	5.96	0.33	0.36	1,200.00
BZ-11	1,435.00	1,429.08	5.92	0.63	0.66	1,200.00
BZ-12	1,440.00	1,438.85	1.15	0.00	0.03	1,200.00
BZ-13	1,438.24	1,437.09	1.15	0.04	0.10	1,200.00
BZ-14	1,435.00	1,433.70	1.30	0.11	0.15	1,200.00
BZ-15	1,450.06	1,447.06	3.00	0.00	0.02	1,200.00
BZ-16	1,444.51	1,441.51	3.00	0.03	0.06	1,200.00
BZ-17	1,437.60	1,433.88	3.72	0.08	0.10	1,200.00
BZ-18	1,435.16	1,434.01	1.15	0.00	0.01	1,200.00
BZ-19	1,470.00	1,467.00	3.00	0.00	0.03	1,200.00
BZ-20	1,463.55	1,462.39	1.15	0.03	0.06	1,200.00
BZ-21	1,462.17	1,461.02	1.15	0.07	0.08	1,200.00
BZ-22	1,465.32	1,460.88	4.44	0.08	0.11	1,200.00
BZ-23	1,464.70	1,460.66	4.04	0.21	0.23	1,200.00
BZ-24	1,470.00	1,468.85	1.15	0.00	0.03	1,200.00
BZ-25	1,470.00	1,467.00	3.00	0.04	0.08	1,200.00
BZ-26	1,467.85	1,464.85	3.00	0.08	0.09	1,200.00

BZ-27	1,465.86	1,460.51	5.35	0.23	0.23	1,200.00
BZ-28	1,465.10	1,460.34	4.76	0.24	0.25	1,200.00
BZ-29	1,465.27	1,460.23	5.04	0.25	0.28	1,200.00
BZ-30	1,465.28	1,460.08	5.20	0.28	0.32	1,200.00
BZ-31	1,459.36	1,455.66	3.70	0.44	0.46	1,200.00
BZ-32	1,459.64	1,458.48	1.15	0.00	0.06	1,200.00
BZ-33	1,457.05	1,455.90	1.15	0.06	0.12	1,200.00
BZ-34	1,454.25	1,453.10	1.15	0.46	0.46	1,200.00
BZ-35	1,452.06	1,450.49	1.57	0.59	0.60	1,200.00
BZ-36	1,460.16	1,459.01	1.15	0.00	0.03	1,200.00
BZ-37	1,456.60	1,455.45	1.15	0.03	0.08	1,200.00
BZ-38	1,454.55	1,452.89	1.67	0.08	0.11	1,200.00
BZ-39	1,449.45	1,448.30	1.15	0.60	0.64	1,200.00
BZ-40	1,450.23	1,447.65	2.58	0.64	0.69	1,200.00
BZ-41	1,447.65	1,444.65	3.00	0.69	0.71	1,200.00
BZ-42	1,440.99	1,439.83	1.15	0.72	0.72	1,200.00
BZ-43	1,447.96	1,446.81	1.15	0.00	0.03	1,200.00
BZ-44	1,446.92	1,445.76	1.15	0.04	0.12	1,200.00
BZ-45	1,444.76	1,442.88	1.88	0.12	0.18	1,200.00
BZ-46	1,444.48	1,441.48	3.00	0.19	0.22	1,200.00
BZ-47	1,460.09	1,458.94	1.15	0.00	0.03	1,200.00
BZ-48	1,458.15	1,457.00	1.15	0.03	0.06	1,200.00
BZ-49	1,451.79	1,450.64	1.15	0.06	0.06	1,200.00
BZ-50	1,465.13	1,463.97	1.15	0.00	0.01	1,200.00
BZ-51	1,465.39	1,463.82	1.57	0.02	0.04	1,200.00
BZ-52	1,463.38	1,462.23	1.15	0.05	0.08	1,200.00
BZ-53	1,464.40	1,461.99	2.41	0.08	0.12	1,200.00
BZ-54	1,461.71	1,460.56	1.15	0.12	0.15	1,200.00
BZ-55	1,457.00	1,455.85	1.15	0.15	0.16	1,200.00
BZ-56	1,459.40	1,453.35	6.05	0.27	0.33	1,200.00

BZ-57	1,455.20	1,454.05	1.15	0.00	0.01	1,200.00
BZ-58	1,460.00	1,453.85	6.15	0.01	0.05	1,200.00
BZ-59	1,460.00	1,453.60	6.40	0.05	0.10	1,200.00
BZ-60	1,453.96	1,452.81	1.15	0.34	0.42	1,200.00
BZ-61	1,443.55	1,442.39	1.15	0.42	0.49	1,200.00
BZ-62	1,438.59	1,437.44	1.15	0.49	0.57	1,200.00
BZ-63	1,435.63	1,433.64	1.99	0.58	0.64	1,200.00
BZ-64	1,430.00	1,428.85	1.15	0.64	0.66	1,200.00
BZ-65	1,452.70	1,451.55	1.15	0.00	0.02	1,200.00
BZ-66	1,439.52	1,438.37	1.15	0.02	0.05	1,200.00
BZ-67	1,425.37	1,424.22	1.15	0.05	0.07	1,200.00

Fuente: Elaboración propia

Del análisis se observa que gran mayoría de los buzones tienen una profundidad mínima de 1.15m, cumpliendo la Norma Técnica. También se obtuvieron profundidades mayores, esto se debe a la topografía irregular de la zona de investigación, al tratarse de un cerro, es necesario considerar dichas profundidades para compensar las pendientes de los colectores. Se emplearon buzones de diámetro 1.20m para el análisis en el software, para cumplir la Norma Técnica se aumentará el diámetro a 1.50m para aquellos buzones con profundidad mayor a 3m. Se observan caudales con valores bajos, debido a que la población de la ampliación es pequeña.

Tabla N° 8: Resultado de análisis de flujo permanente en puntos de empalme

Etiqueta	Cota de terreno (m)	Cota de fondo (m)	Profundidad (m)	Caudal total (L/s)
O-1	1,434.11	1,428.64	5.48	0.66
O-2	1,440.11	1,438.95	1.15	0.73
O-3	1,437.98	1,436.83	1.15	0.22
O-4	1,444.61	1,443.46	1.15	0.07
O-5	1,429.17	1,428.02	1.15	0.63
O-6	1,416.93	1,415.77	1.15	0.07

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N° 8, se observan los caudales en los puntos de empalme con la red de alcantarillado existente. Se calculó el caudal residual total obtenido ( $Q_{total}$ ) de la siguiente manera:

$$Q_{total}=0.66+0.73+0.22+0.07+0.63+0.07=2.42 \text{ L/s}$$

El caudal total obtenido mediante la modelación estática (flujo permanente) es

2.42 L/s,

Tabla N° 9: Resultado de análisis de flujo permanente en colectores

Etiqueta	Buzón inicio	Cota de inicio (m)	Buzón final	Cota de fin (m)	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)
Colector-1	BZ-1	1.437.38	BZ-2	1.437.17	42.30	0.005	0.04	0.18
Colector-2	BZ-3	1.438.49	BZ-2	1.437.17	21.90	0.060	0.01	0.31
Colector-3	BZ-2	1.437.17	BZ-4	1.436.94	46.10	0.005	0.12	0.26
Colector-4	BZ-5	1.437.98	BZ-4	1.436.94	40.80	0.026	0.02	0.27
Colector-5	BZ-4	1.436.94	BZ-6	1.429.56	46.20	0.160	0.20	1.01
Colector-6	BZ-7	1.434.03	BZ-8	1.429.96	40.60	0.100	0.01	0.37
Colector-7	BZ-8	1.429.96	BZ-9	1.429.76	40.30	0.005	0.04	0.19
Colector-8	BZ-9	1.429.76	BZ-6	1.429.56	40.30	0.005	0.07	0.22
Colector-9	BZ-6	1.429.56	BZ-10	1.429.32	48.40	0.005	0.33	0.35
Colector-10	BZ-10	1.429.32	BZ-11	1.429.08	48.40	0.005	0.37	0.36
Colector-11	BZ-12	1.438.85	BZ-13	1.437.09	44.70	0.039	0.04	0.39
Colector-12	BZ-13	1.437.09	BZ-14	1.433.70	44.70	0.076	0.11	0.63
Colector-13	BZ-14	1.433.70	BZ-11	1.429.08	46.20	0.100	0.15	0.80
Colector-14	BZ-15	1.447.06	BZ-16	1.441.51	53.30	0.104	0.03	0.49
Colector-15	BZ-16	1.441.51	BZ-17	1.433.88	33.50	0.228	0.06	0.81
Colector-16	BZ-17	1.433.88	BZ-18	1.434.01	25.10	0.005	0.02	0.15
Colector-17	BZ-17	1.433.88	BZ-11	1.429.08	41.40	0.116	0.11	0.75
Colector-18	BZ-20	1.462.39	BZ-19	1.467.00	45.40	0.101	0.03	0.50
Colector-19	BZ-20	1.462.39	BZ-21	1.461.02	32.40	0.042	0.07	0.46
Colector-20	BZ-21	1.461.02	BZ-22	1.460.88	27.70	0.005	0.08	0.23
Colector-21	BZ-22	1.460.88	BZ-23	1.460.66	43.30	0.005	0.11	0.25

Colector-22	BZ-24	1.468.85	BZ-25	1.468.25	41.40	0.014	0.04	0.27
Colector-23	BZ-25	1.468.25	BZ-26	1.464.85	34.00	0.100	0.08	0.66
Colector-24	BZ-26	1.464.85	BZ-23	1.460.66	33.20	0.126	0.10	0.75
Colector-25	BZ-23	1.460.66	BZ-27	1.460.51	30.70	0.005	0.23	0.32
Colector-26	BZ-27	1.460.51	BZ-28	1.460.34	34.80	0.005	0.24	0.32
Colector-27	BZ-28	1.460.34	BZ-29	1.460.23	21.70	0.005	0.25	0.33
Colector-28	BZ-29	1.460.23	BZ-30	1.460.08	30.50	0.005	0.28	0.33
Colector-29	BZ-30	1.460.08	BZ-31	1.455.66	34.00	0.130	0.32	1.09
Colector-30	BZ-32	1.458.48	BZ-33	1.455.90	49.90	0.052	0.06	0.48
Colector-31	BZ-33	1.455.90	BZ-31	1.455.66	47.10	0.005	0.12	0.26
Colector-32	BZ-31	1.455.66	BZ-34	1.453.10	24.90	0.103	0.46	1.12
Colector-33	BZ-34	1.453.10	BZ-35	1.450.49	56.90	0.046	0.47	0.85
Colector-34	BZ-36	1.459.01	BZ-37	1.455.45	49.80	0.071	0.03	0.44
Colector-35	BZ-37	1.455.45	BZ-38	1.452.89	33.70	0.076	0.08	0.60
Colector-36	BZ-38	1.452.89	BZ-35	1.450.49	41.90	0.057	0.12	0.61
Colector-37	BZ-35	1.450.49	BZ-39	1.448.30	30.50	0.072	0.60	1.07
Colector-38	BZ-39	1.448.30	BZ-40	1.447.65	50.50	0.013	0.64	0.60
Colector-39	BZ-40	1.447.65	BZ-41	1.444.65	38.10	0.079	0.69	1.15
Colector-40	BZ-41	1.444.65	BZ-42	1.439.83	37.80	0.128	0.72	1.37
Colector-41	BZ-43	1.446.81	BZ-44	1.445.76	55.90	0.019	0.04	0.29
Colector-42	BZ-44	1.445.76	BZ-45	1.442.88	51.30	0.056	0.12	0.60
Colector-43	BZ-45	1.442.88	BZ-46	1.441.48	23.60	0.059	0.19	0.71
Colector-44	BZ-47	1.458.94	BZ-48	1.457.00	59.70	0.032	0.03	0.34
Colector-45	BZ-48	1.457.00	BZ-49	1.450.64	26.10	0.244	0.06	0.83
Colector-46	BZ-50	1.463.97	BZ-51	1.463.82	30.60	0.005	0.02	0.15
Colector-47	BZ-51	1.463.82	BZ-52	1.462.23	31.70	0.050	0.05	0.45
Colector-48	BZ-52	1.462.23	BZ-53	1.461.99	48.30	0.005	0.08	0.23

Colector-49	BZ-53	1.461.99	BZ-54	1.460.56	53.70	0.027	0.12	0.48
Colector-50	BZ-54	1.460.56	BZ-55	1.455.85	28.80	0.164	0.15	0.92
Colector-51	BZ-55	1.455.85	BZ-56	1.453.35	14.90	0.168	0.16	0.95
Colector-52	BZ-57	1.454.05	BZ-58	1.453.85	40.80	0.005	0.01	0.12
Colector-53	BZ-58	1.453.85	BZ-59	1.453.60	49.90	0.005	0.05	0.21
Colector-54	BZ-59	1.453.60	BZ-56	1.453.35	49.90	0.005	0.11	0.25
Colector-55	BZ-56	1.453.35	BZ-60	1.452.81	59.20	0.009	0.34	0.44
Colector-56	BZ-60	1.452.81	BZ-61	1.442.39	52.20	0.200	0.42	1.34
Colector-57	BZ-61	1.442.39	BZ-62	1.437.44	55.00	0.090	0.49	1.09
Colector-58	BZ-62	1.437.44	BZ-63	1.433.64	45.00	0.085	0.58	1.11
Colector-59	BZ-63	1.433.64	BZ-64	1.428.85	47.90	0.100	0.64	1.22
Colector-60	BZ-65	1.451.55	BZ-66	1.438.37	55.00	0.240	0.02	0.58
Colector-61	BZ-66	1.438.37	BZ-67	1.424.22	50.00	0.283	0.05	0.85
Colector Existente-	BZ-11	1.429.08	O-1	1.428.54	43.40	0.012	0.66	0.60
Colector Existente-	BZ-42	1.439.83	O-2	1.438.95	27.20	0.032	0.73	0.86
Colector Existente-	BZ-46	1.441.48	O-3	1.436.83	29.70	0.156	0.22	1.04
Colector Existente-	BZ-49	1.450.64	O-4	1.443.46	19.60	0.366	0.07	0.99
Colector Existente-	BZ-64	1.428.85	O-5	1.428.02	45.10	0.018	0.67	0.69
Colector_Existente-	BZ-67	1,424.22	O-6	1,415.77	53.50	0.158	0.07	0.76

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N° 9, se observan los resultados detallados para cada colector que conforma la propuesta de ampliación para la red de alcantarillado. Ningún colector excede la longitud de 60m cumpliendo con la Norma Técnica OS.070. De igual manera que en los buzones, se obtuvieron caudales y velocidades de valores bajos debido a la población pequeña de la zona de estudio. Las pendientes llegan a ser bastante variables debido a la topografía de la zona de estudio, que, al tratarse de un cerro, se torna necesario realizar trazos con pendientes pronunciadas. Todos los colectores tienen un diámetro nominal de 160mm según la normativa y se consideró para el cálculo un coeficiente de rozamiento Manning de 0.009 correspondiente a las especificaciones técnicas de las tuberías de PVC. También se corroboró que el diámetro es adecuado para los colectores existentes:

Tabla N° 10: Comparación de diámetros en empalme de red de alcantarillado

Etiqueta	Buzón inicial	Buzón final	Diámetro existente (mm)	Diámetro diseñado (mm)
Colector_Existente-1	BZ-11	O-1	200	160
Colector_Existente-2	BZ-42	O-2	160	160
Colector_Existente-3	BZ-46	O-3	160	160
Colector_Existente-4	BZ-49	O-4	160	160
Colector_Existente-5	BZ-64	O-5	250	160
Colector_Existente-6	BZ-67	O-6	200	160

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N° 10, se observa la comparación de diámetros en colectores de empalme. Se requiere 160 mm para el correcto funcionamiento y se cumple dicha condición.

### Perfiles

En la figura 48 se observa un esquema referencial del trazo de los perfiles en la red de alcantarillado propuesta, de tal manera que se pueda identificar con facilidad cada una de las figuras posteriores.

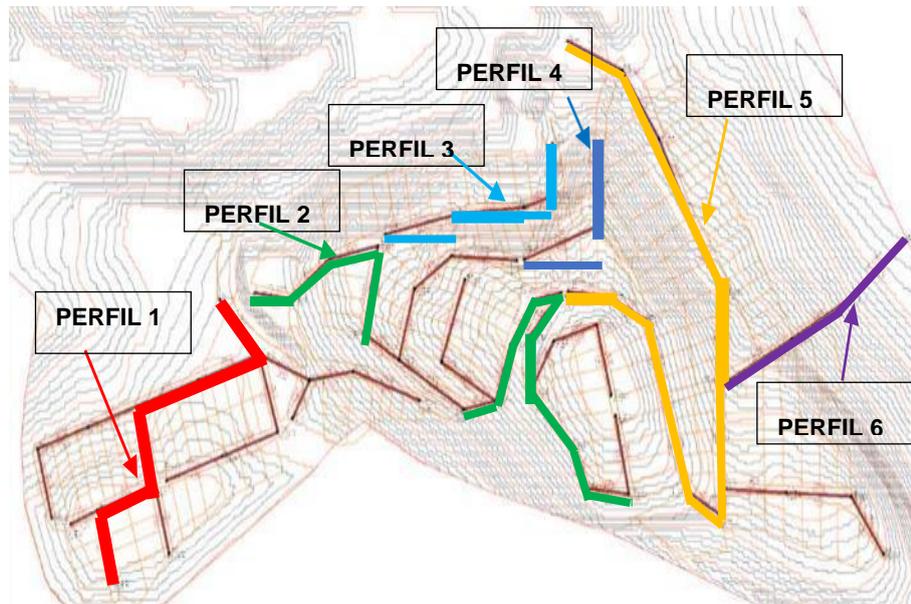


Figura N° 49: Esquema de perfiles graficados

Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022

## Perfil 1

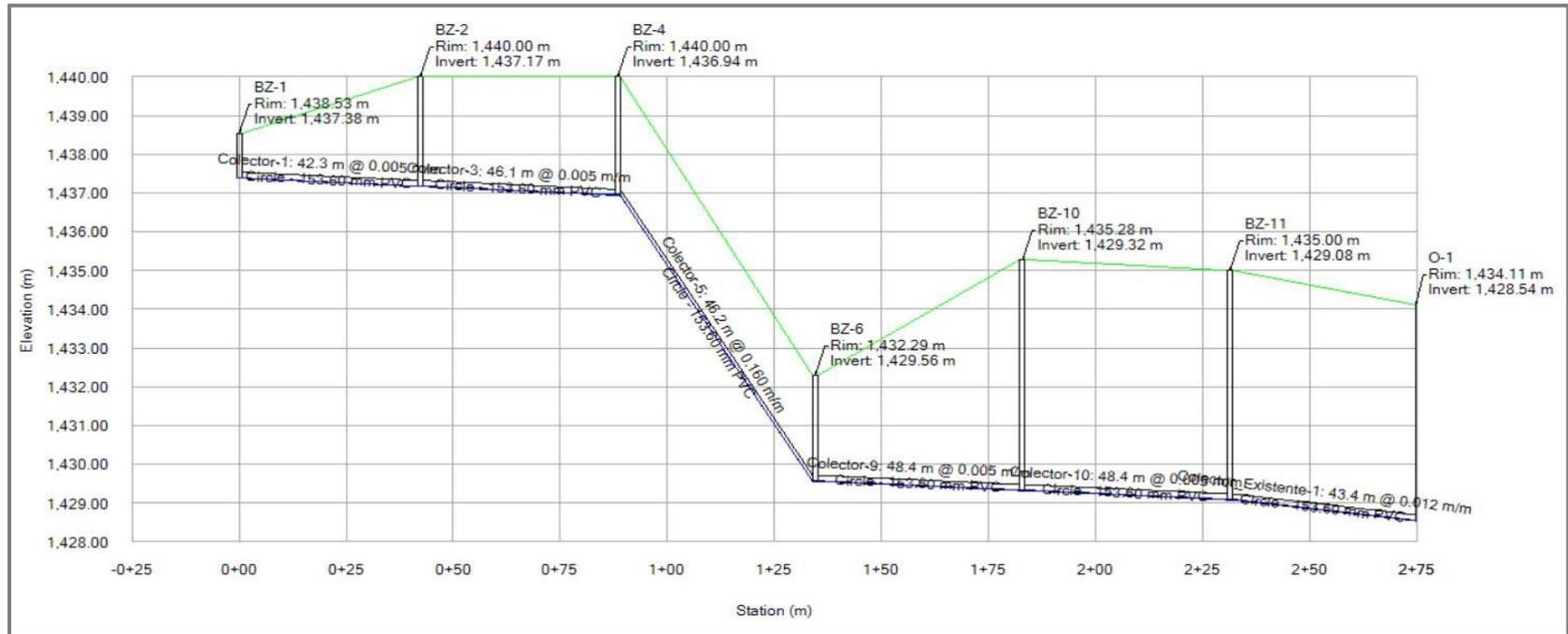


Figura N° 50: Perfil 1 - Colectores

Fuente: Elaboración propia usando SewerCad 10.01.00.70.

## Perfil 2

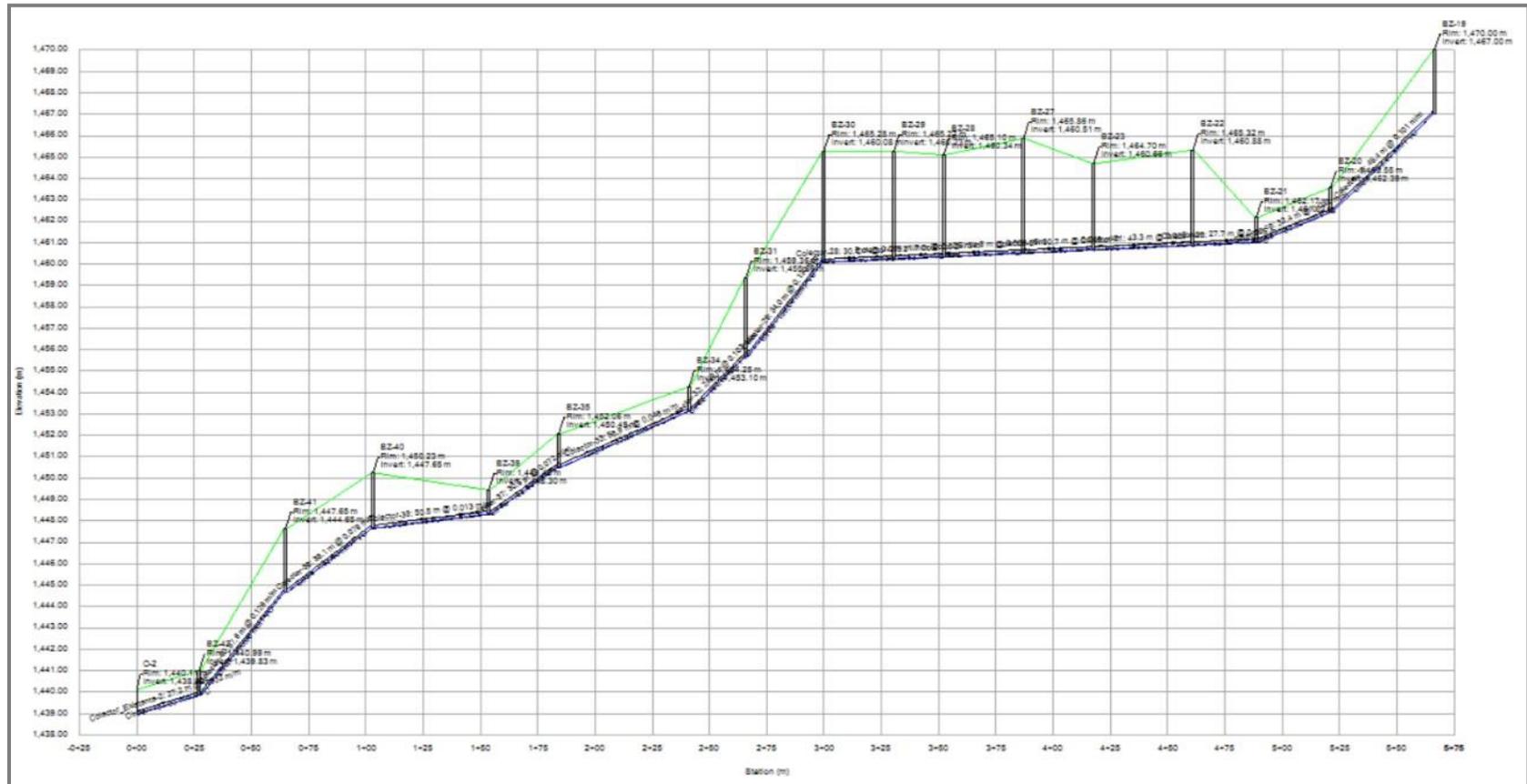


Figura N° 51: Perfil 2 - Colectores

Fuente: Elaboración propia usando SewerCad 10.01.00.70.

### Perfil 3

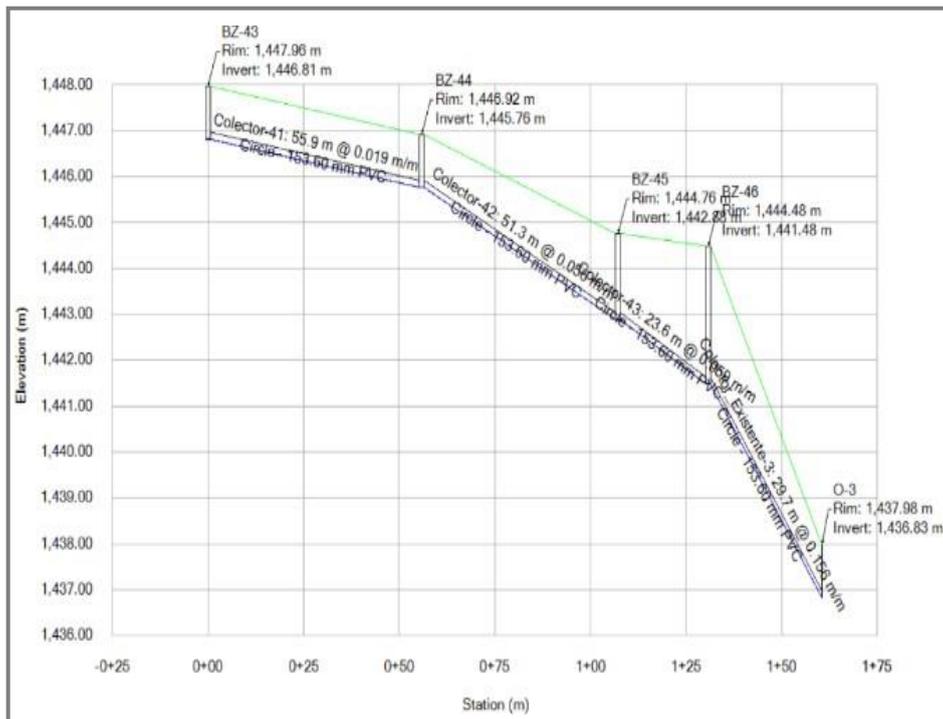


Figura N° 52: Perfil 3 - Colectores

Fuente: Elaboración propia usando SewerCad 10.01.00.70.

## Perfil 4

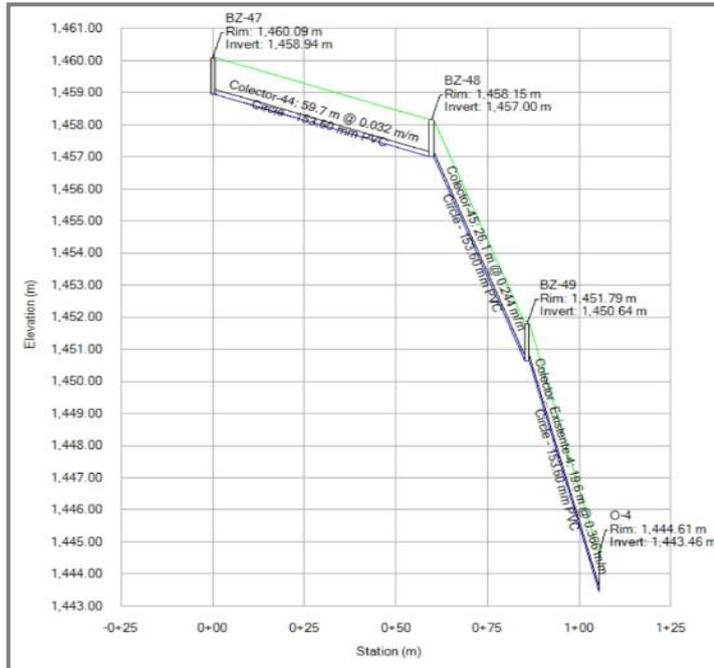


Figura N° 53: Perfil 3 – Colectores

Fuente: Elaboracion propia usando SewerCad 10.01.00.70

## Perfil 5

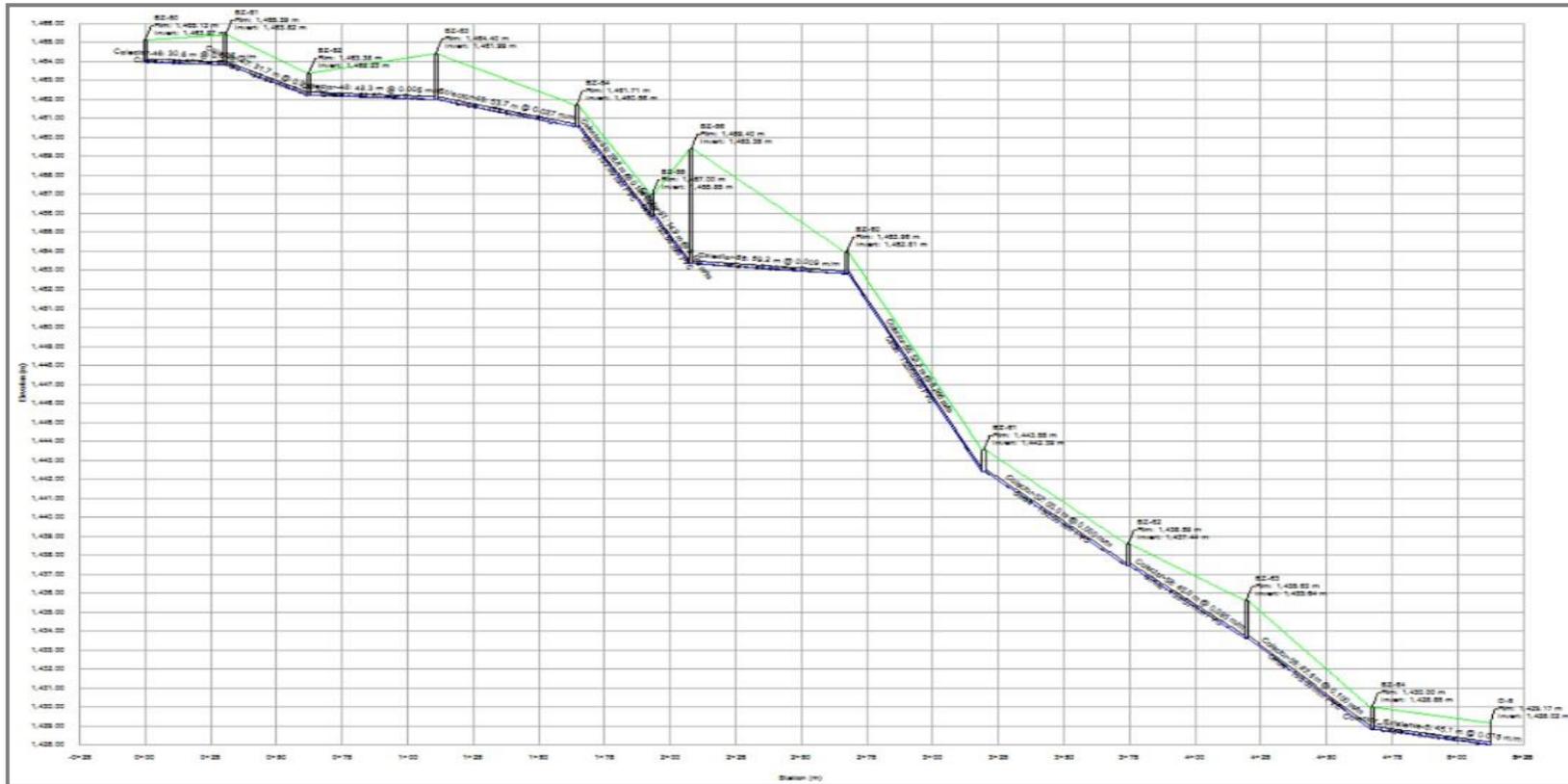


Figura N° 54: Perfil 5 - Colectores

Fuente: Elaboración propia usando SewerCad 10.01.00.70.

## Perfil 6

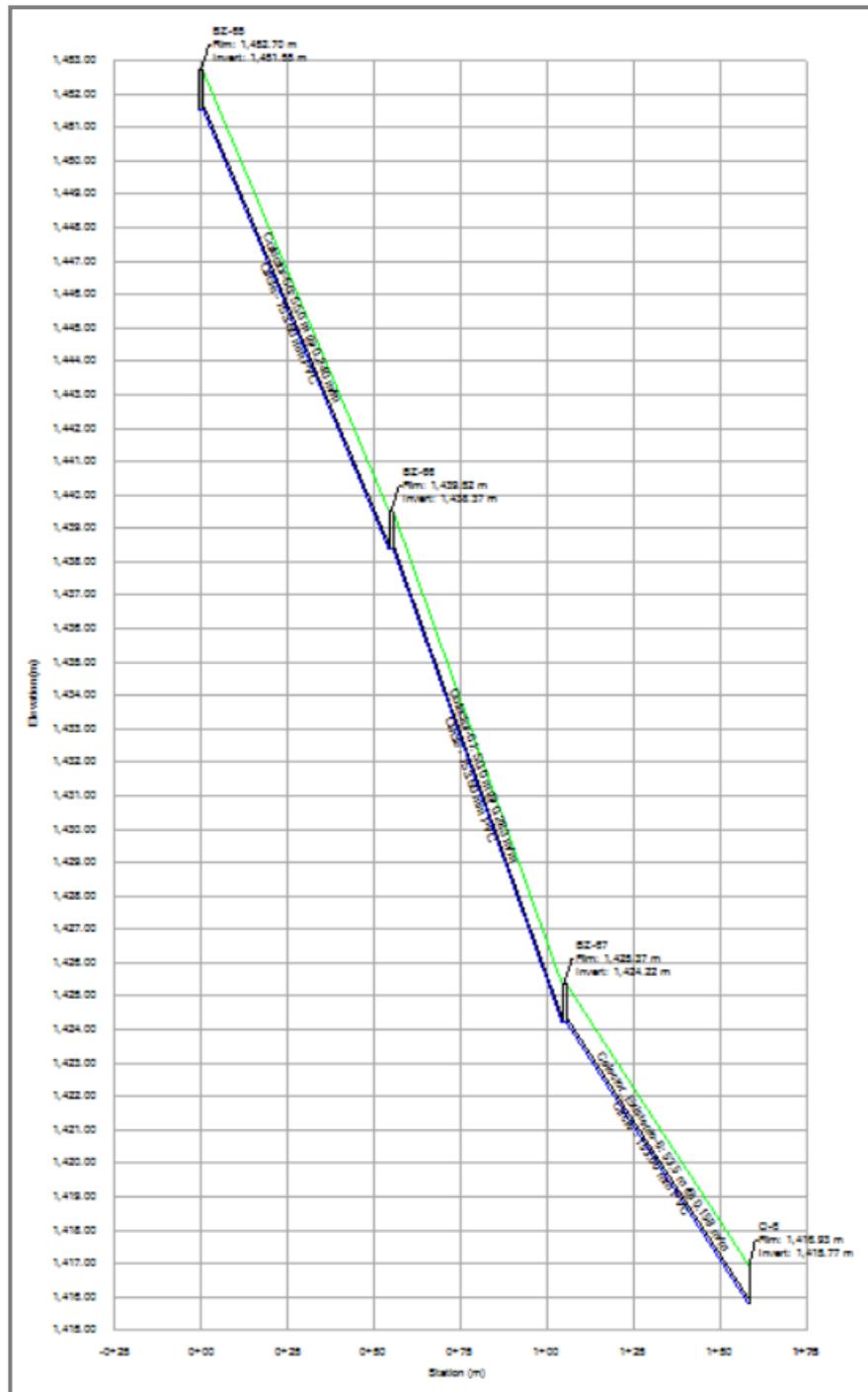


Figura N° 55: Perfil 6 - Colectores

Fuente: Elaboración propia usando SewerCad 10.01.00.70.

### 5.3.3 Modelación dinámica

Para la modelación dinámica se toma como referencia el coeficiente de caudal máximo horario  $k_2$  valor entre 1.8 y 2.5, según norma OS.070, para nuestro proyecto utilizamos el factor 2

Presentamos el siguiente esquema de variaciones horarias.

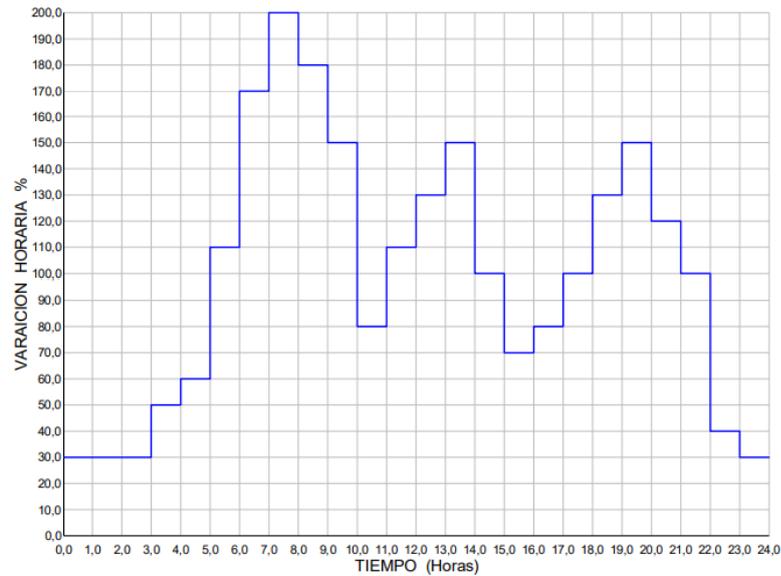


Figura N° 56. hidrograma de consumo para  $k_2=2$

Fuente: Magne (2008)

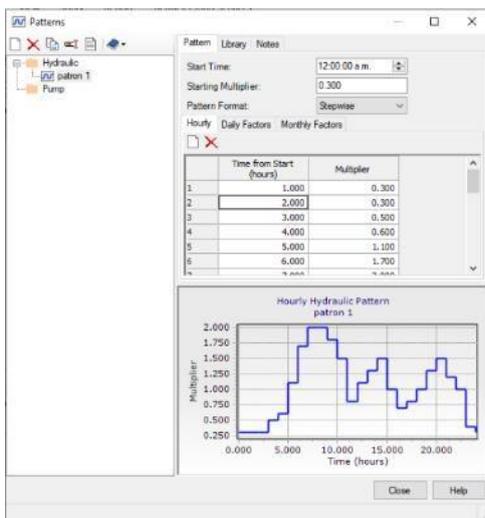


Figura N° 57. Captura de pantalla de modelamiento ingreso de hidrograma

Fuente: Elaboración propia usando SewerCad 10.01.00.70.

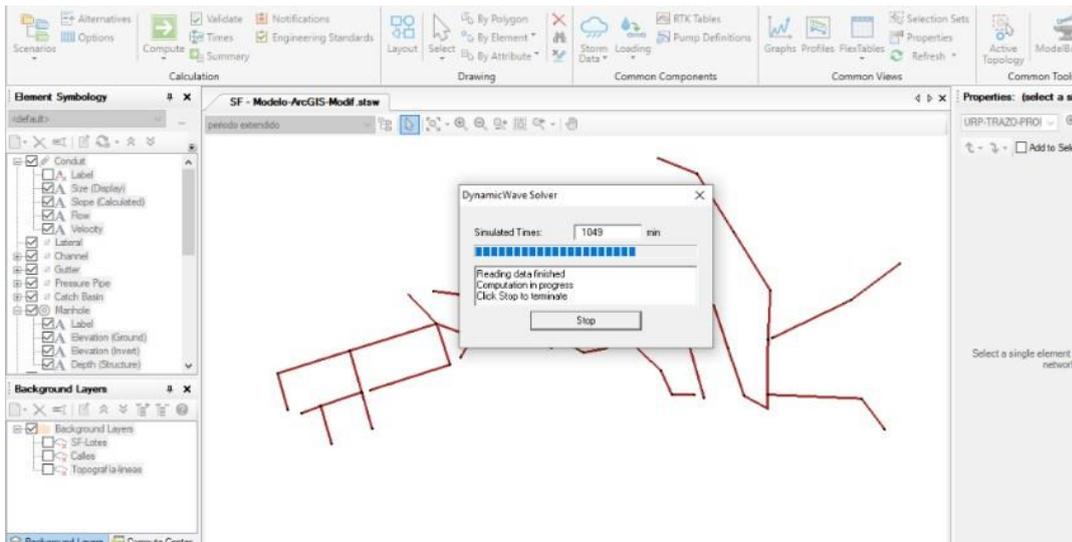


Figura N° 58. Captura de pantalla de modelamiento en periodo extendido

Fuente: Elaboración propia usando SewerCad 10.01.00.70.

Tabla N° 11: Resultado de análisis dinámico en buzones

Buzón	Cota de terreno (m)	Cota de fondo (m)	Profundidad (m)	Caudal entrada (L/s)	Caudal salida (L/s)	Diámetro (mm)
BZ-1	1,438.53	1,437.38	1.15	0.00	0.07	1,200.00
BZ-2	1.440.00	1.437.17	2.83	0.10	0.23	1.200.00
BZ-3	1.439.64	1.438.49	1.15	0.00	0.02	1.200.00
BZ-4	1.440.00	1.436.94	3.06	0.27	0.39	1.200.00
BZ-5	1.439.13	1.437.98	1.15	0.00	0.04	1.200.00
BZ-6	1.432.29	1.429.56	2.73	0.52	0.62	1.200.00
BZ-7	1.437.66	1.434.03	3.64	0.00	0.02	1.200.00
BZ-8	1.431.12	1.429.96	1.15	0.03	0.07	1.200.00
BZ-9	1.432.19	1.429.76	2.42	0.08	0.13	1.200.00
BZ-10	1.435.28	1.429.32	5.96	0.62	0.69	1.200.00
BZ-11	1.435.00	1.429.08	5.92	1.18	1.24	1.200.00
BZ-12	1.440.00	1.438.85	1.15	0.00	0.07	1.200.00
BZ-13	1.438.24	1.437.09	1.15	0.08	0.21	1.200.00
BZ-14	1.435.00	1.433.70	1.3	0.21	0.29	1.200.00
BZ-15	1.450.06	1.447.06	3	0.00	0.05	1.200.00
BZ-16	1.444.51	1.441.51	3	0.05	0.11	1.200.00
BZ-17	1.437.60	1.433.88	3.72	0.15	0.20	1.200.00
BZ-18	1.435.16	1.434.01	1.15	0.00	0.03	1.200.00
BZ-19	1.470.00	1.467.00	3	0.00	0.06	1.200.00

BZ-20	1.463.55	1.462.39	1.15	0.06	0.12	1.200.00
BZ-21	1.462.17	1.461.02	1.15	0.13	0.15	1.200.00
BZ-22	1.465.32	1.460.88	4.44	0.16	0.20	1.200.00
BZ-23	1.464.70	1.460.66	4.04	0.39	0.43	1.200.00
BZ-24	1.470.00	1.468.85	1.15	0.00	0.07	1.200.00
BZ-25	1.470.00	1.467.00	3	0.08	0.16	1.200.00
BZ-26	1.467.85	1.464.85	3	0.16	0.18	1.200.00
BZ-27	1.465.86	1.460.51	5.35	0.43	0.43	1.200.00
BZ-28	1.465.10	1.460.34	4.76	0.44	0.46	1.200.00
BZ-29	1.465.27	1.460.23	5.04	0.46	0.51	1.200.00
BZ-30	1.465.28	1.460.08	5.2	0.52	0.59	1.200.00
BZ-31	1.459.36	1.455.66	3.7	0.82	0.86	1.200.00
BZ-32	1.459.64	1.458.48	1.15	0.00	0.11	1.200.00
BZ-33	1.457.05	1.455.90	1.15	0.12	0.23	1.200.00
BZ-34	1.454.25	1.453.10	1.15	0.87	0.87	1.200.00
BZ-35	1.452.06	1.450.49	1.57	1.10	1.12	1.200.00
BZ-36	1.460.16	1.459.01	1.15	0.00	0.06	1.200.00
BZ-37	1.456.60	1.455.45	1.15	0.06	0.16	1.200.00
BZ-38	1.454.55	1.452.89	1.67	0.16	0.22	1.200.00
BZ-39	1.449.45	1.448.30	1.15	1.12	1.19	1.200.00
BZ-40	1.450.23	1.447.65	2.58	1.20	1.29	1.200.00
BZ-41	1.447.65	1.444.65	3	1.30	1.33	1.200.00
BZ-42	1.440.99	1.439.83	1.15	1.34	1.35	1.200.00
BZ-43	1.447.96	1.446.81	1.15	0.00	0.07	1.200.00
BZ-44	1.446.92	1.445.76	1.15	0.08	0.23	1.200.00
BZ-45	1.444.76	1.442.88	1.88	0.24	0.36	1.200.00
BZ-46	1.444.48	1.441.48	3	0.37	0.43	1.200.00
BZ-47	1.460.09	1.458.94	1.15	0.00	0.06	1.200.00
BZ-48	1.458.15	1.457.00	1.15	0.06	0.12	1.200.00
BZ-49	1.451.79	1.450.64	1.15	0.12	0.12	1.200.00
BZ-50	1.465.13	1.463.97	1.15	0.00	0.03	1.200.00
BZ-51	1.465.39	1.463.82	1.57	0.03	0.09	1.200.00
BZ-52	1.463.38	1.462.23	1.15	0.09	0.15	1.200.00
BZ-53	1.464.40	1.461.99	2.41	0.16	0.23	1.200.00
BZ-54	1.461.71	1.460.56	1.15	0.23	0.28	1.200.00
BZ-55	1.457.00	1.455.85	1.15	0.28	0.30	1.200.00
BZ-56	1.459.40	1.453.35	6.05	0.50	0.64	1.200.00
BZ-57	1.455.20	1.454.05	1.15	0.00	0.01	1.200.00
BZ-58	1.460.00	1.453.85	6.15	0.02	0.10	1.200.00
BZ-59	1.460.00	1.453.60	6.4	0.10	0.20	1.200.00
BZ-60	1.453.96	1.452.81	1.15	0.64	0.79	1.200.00

BZ-61	1.443.55	1.442.39	1.15	0.80	0.94	1.200.00
BZ-62	1.438.59	1.437.44	1.15	0.94	1.09	1.200.00
BZ-63	1.435.63	1.433.64	1.99	1.10	1.22	1.200.00
BZ-64	1.430.00	1.428.85	1.15	1.22	1.27	1.200.00
BZ-65	1.452.70	1.451.55	1.15	0.00	0.04	1.200.00
BZ-66	1.439.52	1.438.37	1.15	0.04	0.10	1.200.00
BZ-67	1,425.37	1,424.22	1.15	0.10	0.13	1,200.00

De la Tabla N° 11, el análisis se realizó a las 8 horas, que está dentro del tiempo de más demanda según el hidrograma propuesto, el caudal de salida máximo fue de 1.35 l/s ubicado en el buzón BZ-42

Tabla N° 12: Resultado del análisis dinámico en el sistema

Etiqueta	Cota de terreno	Cota de fondo	Profundida d(m)	Caudal total
O-1	1,434.11	1,428.64	5.48	1.2441
O-2	1,440.11	1,438.95	1.15	1.351
O-3	1,437.98	1,436.83	1.15	0.4303
O-4	1,444.61	1,443.46	1.15	0.1227
O-5	1,429.17	1,428.02	1.15	1.2713
O-6	1,416.93	1,415.77	1.15	0.128
Caudal del sistema				4.55

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N° 12, se determina que el caudal total del sistema en el periodo de máxima demanda es de 4.55 l/s.

Tabla N° 13: Resultado de análisis dinámico en colectores

Etiqueta	Buzón inicio	Cota de inicio (m)	Buzón final	Cota de fin(m)	Longitud (m)	Pendiente e(m/m)	Caudal (L/s)	Velocidad d(m/s)
Colector-1	BZ-1	1,437.38	BZ-2	1,437.17	42.3	0.005	0.0726	0.22
Colector-2	BZ-3	1.438.49	BZ-2	1.437.17	21.9	0.06	0.0219	0.38
Colector-3	BZ-2	1.437.17	BZ-4	1.436.94	46.1	0.005	0.2284	0.32
Colector-4	BZ-5	1.437.98	BZ-4	1.436.94	40.8	0.026	0.0394	0.33
Colector-5	BZ-4	1.436.94	BZ-6	1.429.56	46.2	0.16	0.3863	1.23
Colector-6	BZ-7	1.434.03	BZ-8	1.429.96	40.6	0.1	0.0229	0.43
Colector-7	BZ-8	1.429.96	BZ-9	1.429.76	40.3	0.005	0.0726	0.22
Colector-8	BZ-9	1.429.76	BZ-6	1.429.56	40.3	0.005	0.1305	0.27
Colector-9	BZ-6	1.429.56	BZ-10	1.429.32	48.4	0.005	0.6189	0.43
Colector-10	BZ-10	1.429.32	BZ-11	1.429.08	48.4	0.005	0.6942	0.44
Colector-11	BZ-12	1.438.85	BZ-13	1.437.09	44.7	0.039	0.0727	0.45
Colector-12	BZ-13	1.437.09	BZ-14	1.433.70	44.7	0.076	0.2056	0.8
Colector-13	BZ-14	1.433.70	BZ-11	1.429.08	46.2	0.1	0.2889	0.97
Colector-14	BZ-15	1.447.06	BZ-16	1.441.51	53.3	0.104	0.0483	0.58
Colector-15	BZ-16	1.441.51	BZ-17	1.433.88	33.5	0.228	0.1149	0.98
Colector-16	BZ-17	1.433.88	BZ-18	1.434.01	25.1	0.005	0.0304	0.18
Colector-17	BZ-17	1.433.88	BZ-11	1.429.08	41.4	0.116	0.1959	0.9
Colector-18	BZ-20	1.462.39	BZ-19	1.467.00	45.4	0.101	0.0562	0.61
Colector-19	BZ-20	1.462.39	BZ-21	1.461.02	32.4	0.042	0.1223	0.55
Colector-20	BZ-21	1.461.02	BZ-22	1.460.88	27.7	0.005	0.1544	0.28
Colector-21	BZ-22	1.460.88	BZ-23	1.460.66	43.3	0.005	0.2036	0.31
Colector-22	BZ-24	1.468.85	BZ-25	1.468.25	41.4	0.014	0.0725	0.32
Colector-23	BZ-25	1.468.25	BZ-26	1.464.85	34	0.1	0.1551	0.81

Colector-24	BZ-26	1.464.85	BZ-23	1.460.66	33.2	0.126	0.1793	0.9
Colector-25	BZ-23	1.460.66	BZ-27	1.460.51	30.7	0.005	0.4256	0.38
Colector-26	BZ-27	1.460.51	BZ-28	1.460.34	34.8	0.005	0.4332	0.38
Colector-27	BZ-28	1.460.34	BZ-29	1.460.23	21.7	0.005	0.4569	0.39
Colector-28	BZ-29	1.460.23	BZ-30	1.460.08	30.5	0.005	0.5134	0.4
Colector-29	BZ-30	1.460.08	BZ-31	1.455.66	34	0.13	0.5871	1.3
Colector-30	BZ-32	1.458.48	BZ-33	1.455.90	49.9	0.052	0.1143	0.57
Colector-31	BZ-33	1.455.90	BZ-31	1.455.66	47.1	0.005	0.231	0.32
Colector-32	BZ-31	1.455.66	BZ-34	1.453.10	24.9	0.103	0.8608	1.34
Colector-33	BZ-34	1.453.10	BZ-35	1.450.90	56.9	0.039	0.8692	1.02
Colector-34	BZ-36	1.459.01	BZ-37	1.455.45	49.8	0.071	0.0564	0.53
Colector-35	BZ-37	1.455.45	BZ-38	1.453.40	33.7	0.061	0.1559	0.72
Colector-36	BZ-38	1.453.40	BZ-35	1.450.90	41.9	0.06	0.2219	0.73
Colector-37	BZ-35	1.450.90	BZ-39	1.448.30	30.5	0.085	1.1184	1.3
Colector-38	BZ-39	1.448.30	BZ-40	1.447.76	50.5	0.011	1.1929	0.73
Colector-39	BZ-40	1.447.76	BZ-41	1.444.65	38.1	0.081	1.2927	1.39
Colector-40	BZ-41	1.444.65	BZ-42	1.439.83	37.8	0.128	1.3339	1.67
Colector-41	BZ-43	1.446.81	BZ-44	1.445.76	55.9	0.019	0.0733	0.35
Colector-42	BZ-44	1.445.76	BZ-45	1.443.60	51.3	0.042	0.2318	0.74
Colector-43	BZ-45	1.443.60	BZ-46	1.441.48	23.6	0.09	0.364	0.86
Colector-44	BZ-47	1.458.94	BZ-48	1.457.00	59.7	0.032	0.0569	0.4
Colector-45	BZ-48	1.457.00	BZ-49	1.450.64	26.1	0.244	0.1151	1
Colector-46	BZ-50	1.463.97	BZ-51	1.463.82	30.6	0.005	0.0306	0.18
Colector-47	BZ-51	1.463.82	BZ-52	1.462.23	31.7	0.05	0.0877	0.52
Colector-48	BZ-52	1.462.23	BZ-53	1.461.99	48.3	0.005	0.1539	0.28
Colector-49	BZ-53	1.461.99	BZ-54	1.460.56	53.7	0.027	0.2295	0.57
Colector-50	BZ-54	1.460.56	BZ-55	1.455.85	28.8	0.164	0.2793	1.12

Colector-51	BZ-55	1.455.85	BZ-56	1.453.35	14.9	0.168	0.3023	1.19
Colector-52	BZ-57	1.454.05	BZ-58	1.453.85	40.8	0.005	0.0146	0.14
Colector-53	BZ-58	1.453.85	BZ-59	1.453.60	49.9	0.005	0.0979	0.24
Colector-54	BZ-59	1.453.60	BZ-56	1.453.35	49.9	0.005	0.1982	0.31
Colector-55	BZ-56	1.453.35	BZ-60	1.452.81	59.2	0.009	0.6351	0.53
Colector-56	BZ-60	1.452.81	BZ-61	1.442.39	52.2	0.2	0.7938	1.66
Colector-57	BZ-61	1.442.39	BZ-62	1.437.44	55	0.09	0.9358	1.34
Colector-58	BZ-62	1.437.44	BZ-63	1.433.64	45	0.085	1.094	1.36
Colector-59	BZ-63	1.433.64	BZ-64	1.428.85	47.9	0.1	1.2188	1.49
Colector-60	BZ-65	1.451.55	BZ-66	1.438.37	55	0.24	0.0401	0.75
Colector-61	BZ-66	1.438.37	BZ-67	1.424.22	50	0.283	0.0993	1.02
Colector Existente-	BZ-11	1.429.08	O-1	1.428.64	43.4	0.01	1.2441	0.73
Colector Existente-	BZ-42	1.439.83	O-2	1.438.95	27.2	0.032	1.351	1.04
Colector Existente-	BZ-46	1.441.48	O-3	1.436.83	29.7	0.156	0.4303	1.26
Colector Existente-	BZ-49	1.450.64	O-4	1.443.46	19.6	0.366	0.1227	1.19
Colector Existente-	BZ-64	1.428.85	O-5	1.428.02	45.1	0.018	1.2713	0.83
Colector Existente-	BZ-67	1.424.22	O-6	1.415.77	53.5	0.158	0.128	0.88

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N° 13, Las velocidades en los tramos de arranque de la red dan valores bajos incluso menos del mínimo debido a la pendiente de la topografía de la zona de estudio.

#### 5.4 Análisis de resultados

Al caracterizar la topografía de la zona de investigación se tuvo como resultado un terreno bastante accidentado, desde áreas ligeramente onduladas hasta zonas muy empinadas, lo cual dificultó el trazo de la propuesta de ampliación de la red de alcantarillado sanitario. En la figura 55 se observa el resultado de un análisis de pendientes por medio de un modelo digital de terreno (DEM).

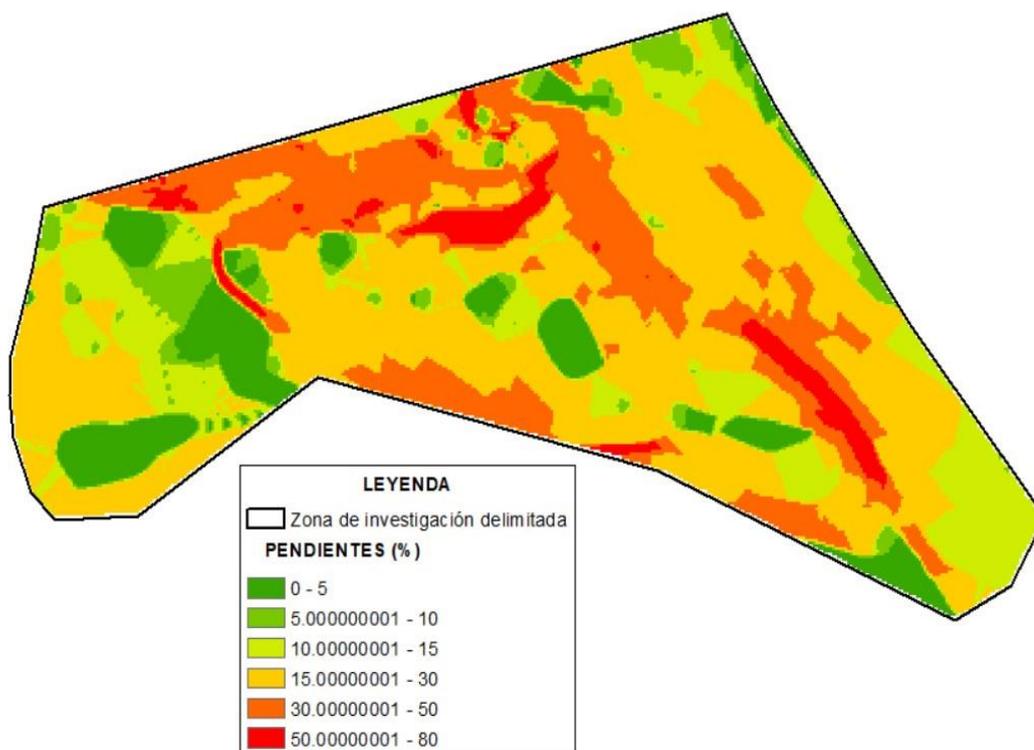


Figura N° 59: Pendientes en modelo digital de terreno (DEM)

Fuente: Elaboración propia usando ArcGIS 10.8

La zona de investigación se encuentra en la zona alta de un cerro, es por ello que las pendientes varían con valores desde 0% hasta 80%, teniendo cotas de elevación desde 1430 a 1470 msnm. Las zonas más empinadas representan las laderas del cerro, donde no hay tránsito ni viviendas, mientras que las zonas menos pronunciadas corresponden a los lotes y calles del centro poblado por abastecer.

El caudal residual fue obtenido en base al número de lotes y la determinación del caudal unitario

Tabla N° 14: Resumen de caudales

Caudal residual (L/s)	
Estático	Dinámico
2.42	4.55

Fuente: Elaboración propia

De la propuesta de diseño realizada para la ampliación del sistema de alcantarillado sanitario del distrito Moquegua, centro poblado San Francisco – Moquegua, se obtuvo la cantidad de elementos requeridos a manera de resumen en la Tabla N° 15, donde se muestran la cantidad de buzones y colectores a emplear.

Tabla N° 15: Resumen de elementos de red para propuesta de ampliación

Elemento de red	Cantidad	Unidad
Colectores D=160mm	2503.90	ml
Buzones	67.00	u
Conexiones domiciliarias	241.00	u

Fuente: Elaboración propia

Como propuesta para el diseño de la red ampliada, y desde un punto de vista investigativo, se consideraron tuberías PVC-UF S-25 x6m D=160mm para los colectores siendo en total 418 unidades, así como buzones prefabricados de diámetros 1.20m y 1.50m según corresponda su profundidad. La propuesta de ampliación contempla el suministro e instalación de conexiones domiciliarias con una tubería PVC-UF S-25 x6m D=160mm, cachimba de PVC, caja de registro

de 0.60 x 0.60m h=0.80, con tapa y losa de concreto, siendo en total 241 unidades de cada elemento.

En la Tabla N° 16 se muestra el resumen de los elementos propuestos, conformado por tuberías PVC DN=160mm, buzones prefabricados y cajas de registro de concreto para las conexiones domiciliarias.

Tabla N° 16: Resumen de elementos de red propuestos para ampliación

Elemento de red	Cantidad	Unidad
Tubería PVC-UF S-25x6m DN=160mm	660.00	u
Buzón Tipo 1 D=1200mm (H<=3.00m)	52.00	u
Buzón Tipo 1 D=1500mm (H>3.00m)	15.00	u
Caja de registro de concreto		
0.60x0.60x0.80m <sup>3</sup>	241.00	u

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 60: Tubería PVC-UF S-25x6m D=160mm

Fuente: SODIMAC (2021)



Figura N° 61: Esquema de excavación de zanja para tuberías PVC de alcantarillado

Fuente: CORMAPLAST (2016)



Figura N° 62: Buzón de alcantarillado prefabricado

Fuente: CONSYCON (2021)



Figura N° 63: Caja de registro para conexión domiciliar de desagüe

Fuente: TECCONSA (2021)

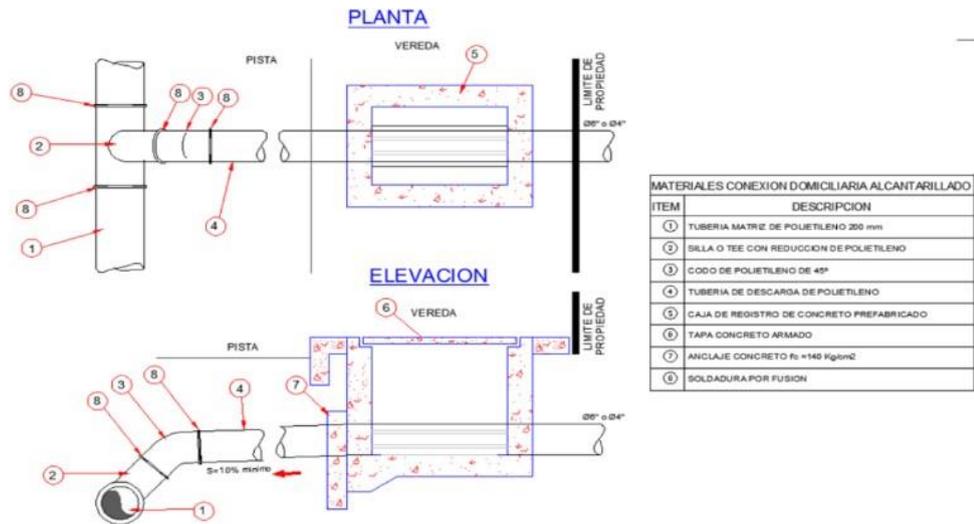


Figura N° 64: Conexiones domiciliarias de desagüe

Fuente: SEDAPAL (2021)

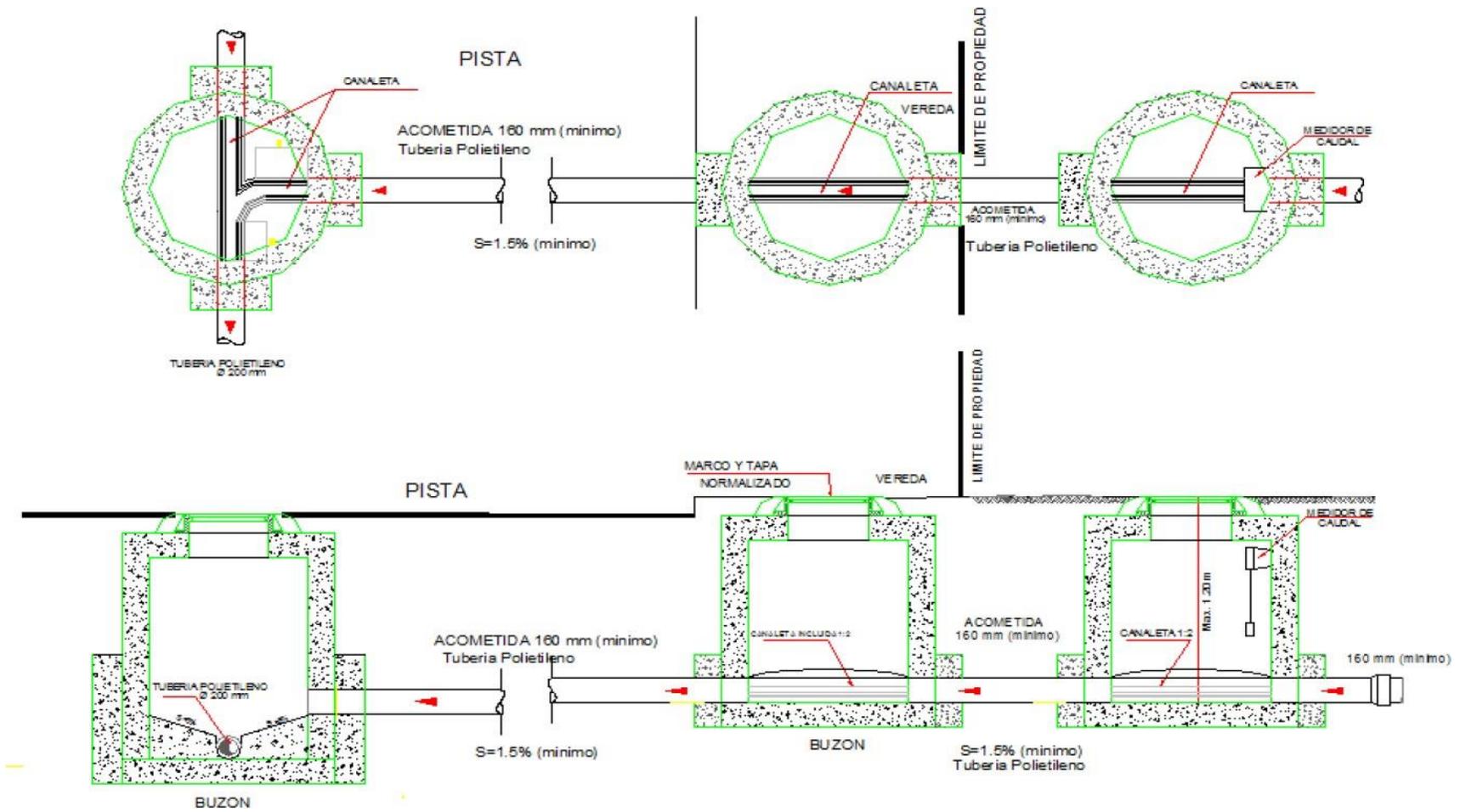


Figura N° 65: Conexiones a buzón

Fuente: SEDAPAL (2021)

## 5.5 Contrastación de hipótesis

- Hipótesis general: La ampliación del sistema de red de alcantarillado sanitario del distrito Moquegua, centro poblado San Francisco – Moquegua beneficiará a los pobladores de la zona y mejorará su calidad de vida. Se realizará a partir de las características topográficas y análisis técnico e hidráulico con la ayuda de modelos numérico.

La ampliación del sistema de alcantarillado sanitario del distrito Moquegua, centro poblado San Francisco-Moquegua, beneficia a las 241 familias que habitan la zona, lo que permitió mejorar la calidad de vida de los mismos teniendo acceso al servicio básico de alcantarillado público. El diseño de la ampliación de red se realizó a partir de la caracterización de la topografía, cálculo de caudal residual y apoyo del modelonumérico para análisis de alcantarillado SewerCad. Demostrándose el cumplimiento de la hipótesis planteada.

- Hipótesis secundaria 1: La topografía de la zona de investigación es accidentada, teniendo pendientes variables y elevadas, debido a que se encuentra en la cima de un cerro.

Se obtuvo una topografía muy irregular con pendientes variables desde 0% hasta 80% debido a que la zona de investigación se ubica en la cima de un cerro. El terreno es bastante accidentado, teniendo zonas desde ligeramente onduladas hasta muy empinadas. Lo cual confirma la hipótesis de tener pendientes variables y elevadas en ese tipo de territorio, debido a que las laderas del cerro tienen diferencias de cotas de elevación considerables en poca distancia horizontal.

- Hipótesis secundaria 2: La simulación de la red ampliada de alcantarillado se realizará con el software SewerCad. Aproximadamente el caudal residual total 5 l/s

El caudal residual fue de 4.55 l/s en la simulación, esto con el análisis realizado en la modelación dinámica otorgando cargas unitarias a cada uno de los lotes. Es un cálculo menor que lo propuesto en la hipótesis, esto se debe a que la densidad poblacional del centro poblado San Francisco estaba sobredimensionada por lo que no se cumple la hipótesis planteada.

- Hipótesis secundaria 3: La ampliación del sistema de alcantarillado del poblado San Francisco se analizará con el software SewerCad. En el que integra una serie de variables hidráulicas y estructurales.

Se realizó el análisis hidráulico en el software SewerCad teniendo como base la información de topografía y de caudal residual previamente elaborado. Se realizaron los análisis de flujo permanente (estático) y de periodo extendido (dinámico), obteniendo los caudales totales del proyecto para cada caso; además se diseñó la red y se obtuvieron los diámetros de los colectores a emplear en cada tramo del alcantarillado sanitario propuesto siendo 160 mm el valor común, además se obtuvo información muy detallada, tales como: velocidades, caudales, pendientes, cotas de elevación, entre otros. Por tanto, la hipótesis se cumple en su totalidad.

## CONCLUSIONES

1. La topografía de la zona de investigación es accidentada debido a que se ubica en la cima de un cerro, teniendo valores de pendientes muy variables y elevadas. Se tienen zonas desde ligeramente onduladas hasta muy empinadas, variando los valores de pendientes desde 0% hasta 80%. Esto influyó directamente en el trazo de la red de alcantarillado sanitario, donde se procuró evitar aquellas zonas con altas pendientes para la ubicación de los colectores, evitando exceder el límite de velocidad del flujo residual. Todos los tramos del sistema de alcantarillado propuesto se diseñaron para funcionar a favor de la gravedad.
2. Se concluyó que el caudal residual del Centro poblado San Francisco es de 2.42 L/s. Para la población futura de 1090 habitantes además de que según la norma boliviana se considera un caudal de infiltración de 0.43 L/s que representan aguas subterráneas principalmente freáticas a través de fisuras en los colectores.
3. Se empleó el software SewerCad para realizar las modelaciones por el método estático (análisis de flujo permanente) y por el método dinámico (análisis de periodo extendido) adonde se verificó el cumplimiento de la Norma Técnica Peruana OS.070 "Redes de alcantarillado" en ambos métodos de análisis se obtuvieron intervalos de velocidades desde 0.6 m/s hasta 1.66 m/s. Por tanto, el diseño de la ampliación de red de alcantarillado sanitario consistió en 61 colectores de alcantarillado (tubos PVC de 160mm de diámetro), 67 buzones (52 buzones de 1200mm de diámetro y 15 buzones de 1500mm de diámetro) y 241 conexiones domiciliarias (tubos PVC de 160mm de diámetro).

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda ampliar los métodos para la determinación de población futura dentro de los cuales podrían ser el método de medias móviles, extrapolación, ajuste estacional o el método de alisado exponencial
2. Se recomienda respetar el diseño propuesto para la ampliación de la red de alcantarillado sanitario, tales como las características de los colectores, sus pendientes y caudales por cada tramo. Así como los diámetros y profundidades de los buzones propuestos y las conexiones domiciliarias deben realizarse tal como se mostró en el detalle constructivo.
3. Se recomienda realizar un mantenimiento semestral para prevenir sedimentaciones y obstrucciones en los colectores del sistema de alcantarillado, así como dar charlas de concientización a los habitantes del centro poblado para el uso responsable del servicio de alcantarillado, garantizando de esta manera el cumplimiento de la vida útil del proyecto.
4. Como recomendación académica, se propone realizar una investigación sobre el diseño del sistema de alcantarillado pluvial para la evacuación de las precipitaciones en la zona de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcántara, D. (2014). *Apuntes de topografía*. México D.F. Editorial Universidad Autónoma Metropolitana.

Almestar et al. (2019) *Mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de puerto Eten, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque*. (Tesis de título). Universidad Católica Santo Domingo de Mogrovejo de Lambayeque, Perú.

Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú. Recuperado de <https://www.academia.edu/>.

Burstein (2018) Reflexiones sobre la gestión de los recursos hídricos y la salud pública en el Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2018;35(2):297-303. doi: 10.17843/rpmesp.2018.352.3641.

Cadavid, J. (2006). *Hidráulica de canales fundamentos*. Medellín, Colombia. Editorial Universidad EAFIT.

Cerquín Quispe, R. (2013). *Evaluación de la red de alcantarillado sanitario del jirón la cantuta en la ciudad de Cajamarca*. (Tesis de título). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Equipo de comunicaciones de Netjet. (2019). *Tipos de desagüe y sus características*.

Barcelona, España. Recuperado de <https://www.netjet.es>

Flores (2016). *Evaluación y propuesta de mejoramiento del sistema de alcantarillado sanitario de las asociaciones pro vivienda 28 de julio, Kantu, Villa Mercedes y Vista Alegre – Cusco*. (Tesis de título). Universidad Andina del Cusco, Perú.

Guevara, E. (2015). *Fundamentos de hidráulica*. Chapingo, México. Recuperado de <https://www.academia.edu/>.

Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F. Editorial McGraw-Hill Interamericana.

Hernández, S. L., Ávila D. D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *UAEH Publicación semestral*, Vol.9, No. 17(2020), 51-53. doi: 10.29057/icea.v9i17.6019

León (2015). *Estudio de optimización de costos y productividad en la Instalación de agua potable*. (Tesis de título). Pontificia Universidad Católica, Perú

Lizárraga (2020). *Diseño del sistema de alcantarillado de los sectores Chanquin y la Cobranza del Distrito de Moche – Trujillo - La Libertad*. (Tesis de título).

Universidad Cesar Vallejo de Trujillo., Perú

Leiva (2015) *Estudio comparativo técnico-económico de la red de alcantarillado convencional y condominial en el AA.HH. Pamplona Alta, sector Las Américas*(Tesis de título). Universidad Ricardo Palma, Perú

López Ramírez, R. y Silva Aguirre, M. (2006). *Diseño de la Red de Alcantarillado Sanitario del Bº Tierra Prometida de la Ciudad de Managua*. (Tesis de título). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Nicaragua.

OMS (2007) *Lucha contra las enfermedades transmitidas por el agua en los hogares*  
Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014, abril). *La fiscalización ambiental en aguas residuales*. OEFA. Recuperado de <https://www.oefa.gob.pe/>  
Organización Panamericana de la salud (2005), Lima. *guías para el diseño de*

*tecnologías de alcantarillado*.

Ortiz (2014) *Alcantarillado sanitario*. Pedro E. Ortiz B. Tegucigalpa M.D.C. Noviembre 2013. *Alcantarillado Sanitario*

Peñaranda, C. (14 de febrero del 2019). CCL: Más de 7 millones de peruanos no cuentan con agua potable. *Gestión*. Recuperado de <https://gestion.pe/>

Ramírez Corredor, L. (2016). *Estudio y diagnóstico de la red de alcantarillado sanitario y pluvial para el proceso de densificación de un sector del centro de Bogotá*. (Tesis de título). Universidad Católica de Colombia, Colombia.

Reglamento Nacional de Edificaciones (2009)

Rodríguez (2019). *Modelamiento hidráulico para el mejoramiento del sistema de alcantarillado en los distritos de Callao, Ventanilla y San Martín de Porres*. (Tesis de título). Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú.

Rodríguez Ruiz, P. (2008). *Hidráulica de canales*. Oaxaca, México. Recuperado de [https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica\\_ruiz.pdf](https://carlosquispeanccasi.files.wordpress.com/2011/12/hidraulica_ruiz.pdf).

Salas. (2003). *Zonificación geotécnica sísmica de la ciudad de Moquegua*. (Tesis de título). Universidad Nacional De Ingeniería, Perú.

Sanz et al. (2016) *Diseño de la ampliación de la red de agua potable y sistema de alcantarillado para la zona alta del barrio alto Jordán, comuna 18*. (Tesis de título). Pontificia Universidad Javeriana de Colombia

Tamayo, M. (2002). *El proceso de la investigación científica*. México D.F. Editorial Limusa S.A.

UNESCO (2017) Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017

Vierendel. (2009). *Abastecimiento de agua y alcantarillado*. Lima, Perú. Recuperado de <https://www.academia.edu/>.

# ANEXOS

## Anexo 1: Operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable Independiente				
Sistema de alcantarillado sanitario	Según Vierendel (2009), son una serie de conductos subterráneos cuyo objeto es eliminar por transporte hidráulico las sustancias inconvenientes que pueden ser acarreados o conducidos por el agua.	Parámetros de la red de alcantarillado sanitario	Características de la red de tuberías (pendiente, diámetro, rugosidad)	Norma OS.070  Plano de alcantarillado sanitario

Variable Dependiente

Centro poblado San Francisco	Según el Gobierno Regional de Ucayali (2013), es todo lugar del territorio nacional rural o urbano, identificado mediante un nombre y habitado con ánimo de permanencia.	Población actual  Población proyectada	Habitantes según censo  Habitantes futuros mediante proyección estadística	Datos INEI  Tasa de crecimiento poblacional
<hr/> Variable Interviniente				
Topografía	Según Alcántara (2014), es la ciencia aplicada que se encarga de determinar las posiciones relativas o absolutas de los puntos sobre la Tierra.	Levantamiento topográfico	Normas técnicas para producción de mapas topográficos	Estación total e instrumentos topográficos

---

---

	Según Vera (2000), se define como el volumen de fluido que pasa por la sección transversal del cauce por unidad de tiempo.			Hoja de cálculo
Caudal de descarga		Caudal de consumo	Flujo volumétrico	Padrón de usuarios
				_____

---

Fuente: Elaboración propia



análisis técnico e  
hidráulico con la  
ayuda de modelos  
numérico

<b>Problemas específicos</b>	Objetivo específico	Hipótesis específicas	Variable dependiente/ interviniente	Dimensión	Indicador	Técnicas / instrumentos
¿Cuáles son las características topográficas del centro poblado san francisco?	Caracterizar el levantamiento topográfico del Centro Poblado San Francisco	La topografía de la zona de investigación es accidentada, teniendo pendientes variables y elevadas, debido a que se encuentra en la cima de un cerro	Centro poblado San Francisco	Población actual  Población proyectada	Habitantes según censo  Habitantes futuros mediante proyección estadística	Datos INEI  Tasa de crecimiento poblacional

¿Cuál es el caudal residual del centro poblado san francisco?	Obtener el caudal residual del Centro Poblado San Francisco.	El caudal residual del Centro Poblado San Francisco es aproximadamente 120 L/s.	Topografía	Levantamiento topográfico	Normas técnicas para producción de mapas topográficos	Estación total e instrumentos topográficos
¿Cómo analizar la red hidráulica ampliada del sistema de alcantarillado sanitario?	Analizar la modelación de la red hidráulica ampliada del sistema de alcantarillado sanitario.	La ampliación del sistema de alcantarillado del poblado San Francisco se analizará con el software SewerCad. En el que integra una serie de variables hidráulicas y estructurales.	Caudal de descarga	Caudal de consumo	Flujo volumétrico	Hoja de cálculo  Padrón de usuarios

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 3: Cronograma de actividades

	Abri l	May o	Juni o	Juli o	Agost o	Setiemb re	Octub re	Noviemb re
Inscripción	x							
Elección de tema		x						
Presentación del plan de tesis			x					
Búsqueda de información				x				
Análisis de data					x			
Conclusión						x		
Presentación de tesis							x	
Sustentación de tesis								x

Fuente: Elaboración propia

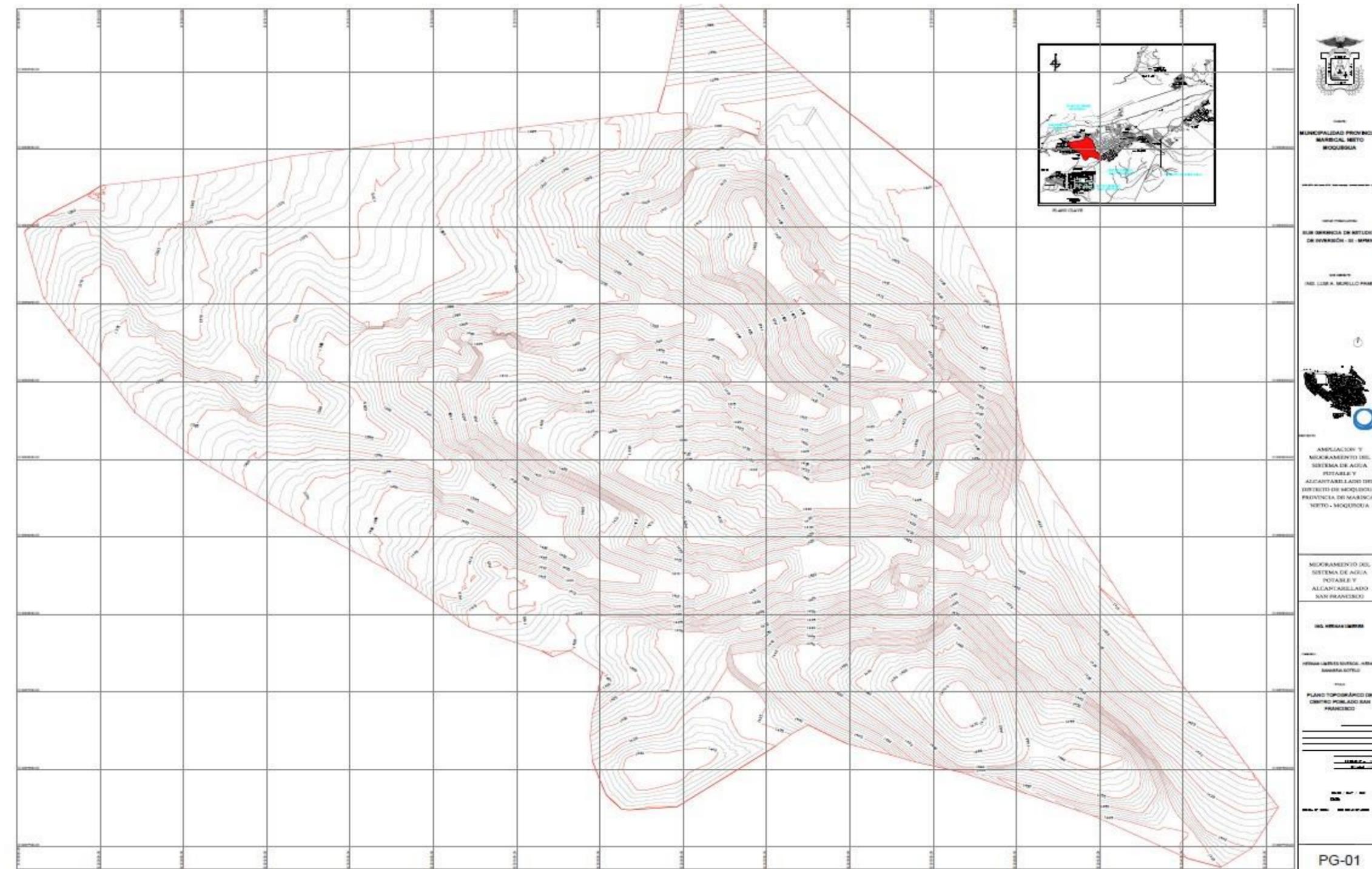
## Anexo 4: Presupuesto de investigación

Ítem	Descripción	Und	Cantida d	Precio Parcial (S/)	Precio Total (S/)	Financiamient o
1.00	Información del proyecto					
1.01	Plano de sistema de alcantarillado sanitario de distrito Moquegua	Glb.	1.00	150.00	150.00	Propio
2.00	Recursos humanos					
2.01	Derecho a examen de admisión para el programa de titulación por tesis (TITES) URP	Und	2.00	150.00	300.00	Propio

2.02	Asesoría TITES URP	Und	2.00	6000.00	12000.00	Propio
		.				
3.00	Servicios					
3.01	Licencia de Softwares	Und	2.00	150.00	300.00	Propio
		.				
3.02	Internet	Glb.	1.00	600.00	600.00	Propio
4.00	Otros					
4.01	Útiles de escritorio, impresiones, fotocopias,  empastado y grabación en cd	Glb.	1.00	500.00	500.00	Propio
4.02	Transporte	Glb.	1.00	300.00	300.00	Propio
					<hr/>	
				Total (S/):	14150.00	

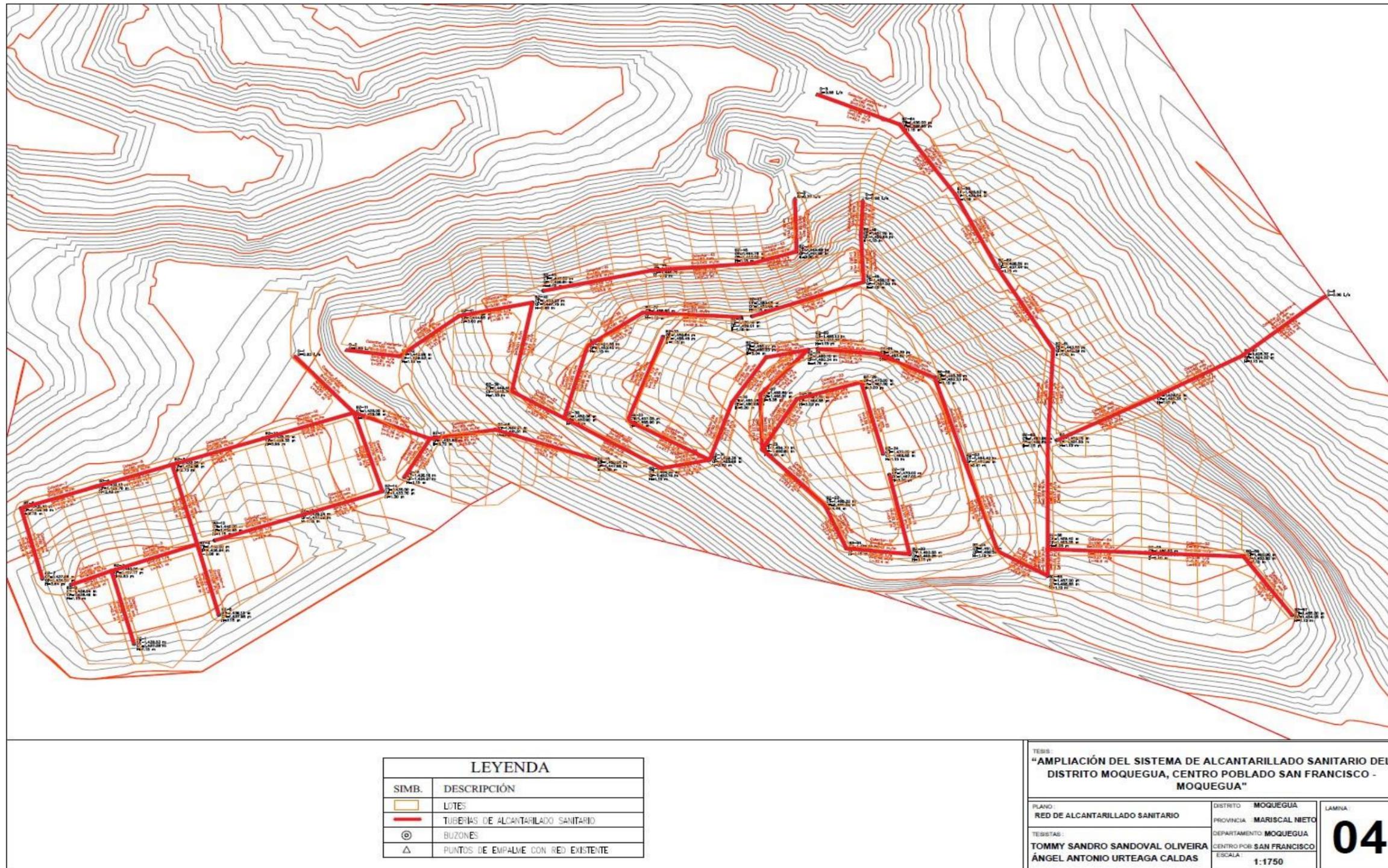
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 5: Plano topográfico del centro poblado San Francisco



Fuente: Municipalidad provincial de Mariscal Nieto (2008)

## Anexo 6: Plano de ampliación de la red de alcantarillado sanitario



Fuente: Elaboración propia usando Civil 3D 2022