



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 24 de octubre de 2023

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

CARLOS ALFREDO ORTIZ OSORIO, con C.C. No. 1.080.293.837,

KEVIN ARMANDO MENDEZ EPIA, con C.C. No. 1.080.297.043,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado Diseño del sistema de Alcantarillado para aguas residuales en la Urbanización Acrópolis localizada en el municipio de Palermo Huila.

presentado y aprobado en el año 2023 como requisito para optar al título de INGENIERO CIVIL;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Carlos Alfredo Ortiz Osorio

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Kevin Armando Mendez Epia

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA				   	
	GESTIÓN DE BIBLIOTECAS					
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA 1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PARA AGUAS RESIDUALES EN LA URBANIZACIÓN ACRÓPOLIS LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE PALERMO HUILA

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
ORTIZ OSORIO	CARLOS ALFREDO
MENDEZ EPIA	KEVIN ARMANDO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
IZQUIERDO BAUTISTA	JAIME

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
IZQUIERDO BAUTISTA	JAIME

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERÍA CIVIL

CIUDAD: NEIVA **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2023 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 69

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas_X_ Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas_X_ Música impresa___ Planos_X_ Retratos___ Sin ilustraciones___
 Tablas o Cuadros_X_

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO: PLANOS EN FORMATO DWG Y MEMORIA DE CALCULO EN EXCEL.

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Ingles</u>
1. <u>Densidad poblacional</u>	<u>Population density</u>
2. <u>Período de diseño</u>	<u>Desing period</u>
3. <u>Parámetros hidráulicos</u>	<u>Hydraulic parameters</u>
4. <u>aguas servidas</u>	<u>sewage system</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En Colombia, la falta de saneamiento básico es un problema importante que afecta a gran parte de la población. Uno de los aspectos más críticos de esta situación es la insuficiente red de alcantarillado, que se extiende principalmente en las áreas rurales y periurbanas del país.

En el presente proyecto, se realizó el diseño del sistema de alcantarillado para aguas residuales en la urbanización "Acrópolis" localizada en el municipio de Palermo, Huila. En el cual se tuvo en cuenta varios factores, tales como: la topografía del terreno, la densidad poblacional, el período de diseño, el consumo neto, y la normativa local (Resolución 330 de 2017 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio). Es importante asegurarse de que toda la red de tubería cumpla con los parámetros hidráulicos, para finalmente determinar el diámetro adecuado y la pendiente óptima en el sistema, el cual permita una eficiente evacuación de las aguas servidas.

Con el diseño del sistema de alcantarillado ya establecido y con los planos digitalizados, se procedió a realizar el presupuesto general oficial del proyecto; donde se investiga sobre los precios de los materiales y equipos a utilizar. De igual forma, hay ciertos parámetros que se deben relacionar para la estructuración de éste mismo, los cuales son tenidos en cuenta y detallados en el presente documento.

Finalmente, se recomienda que el sistema de alcantarillado deba ser monitoreado regularmente para asegurarse de que funcione de manera adecuada y para detectar y reparar cualquier problema que surja a tiempo.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In Colombia, the lack of basic sanitation is a major problem that affects a large part of the population. One of the most critical aspects of this situation is the insufficient net of sewerage, which extends mainly in rural and peri-urban areas of the country.

In this project, the design of the sewage system for wastewater was carried out in the "Acropolis" urbanization located in the municipality of Palermo, Huila. In which several factors were taken into account, such as: the topography of the land, population density, the design period, net consumption, and local regulations (Resolución 330 de 2017 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio). It is important to ensure that the entire pipe network complies with the hydraulic parameters, to finally determine the proper diameter and the optimal slope in the system, which allows efficient evacuation of sewage.

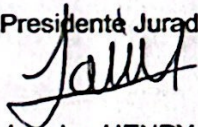
With the design of the sewage system already established and with the digitalized plans, the official general budget of the project was prepared; where the prices of materials and equipment to be used are investigated. In the same way, there are certain parameters that must be related for its structuring, which are taken into account and detailed in this document.

Shortly, it is recommended that the sewage system should be regularly monitored to ensure that it is working properly and to detect and repair on time any problems that pop up.

APROBACION DE LA TESIS

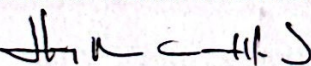
Nombre Presidente Jurado: JAIME IZQUIERDO BAUTISTA

Firma:



Nombre Jurado: HENRY MAURICIO CASTILLO SALGADO

Firma:



Nombre Jurado: JHON JAIRO BELTRÁN DÍAZ

Firma:



Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



Diseño del Sistema de Alcantarillado para Aguas Residuales en la Urbanización Acrópolis localizada en el Municipio de Palermo Huila

Carlos Alfredo Ortiz Osorio
Kevin Armando Mendez Epia

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería Civil, Huila
Neiva, Colombia
2023

Nota. Descargar las fuentes:

- LM Roman-10 Regular
- CMU Sans Serif Bold

Se sugieren los enlaces:

<https://www.cufonfonts.com/font/latin-modern-roman>
<https://www.cufonfonts.com/font/cmu-sans-serif>

Diseño del Sistema de Alcantarillado para Aguas Residuales en la Urbanización Acrópolis localizada en el Municipio de Palermo Huila

Carlos Alfredo Ortiz Osorio
Kevin Armando Mendez Epia

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director (a):
Ing. Jaime Izquierdo Bautista

Línea de Investigación:
Hidráulica

Universidad Surcolombiana
Facultad de Ingeniería Civil, Huila
Neiva, Colombia

2023

(Dedicatoria)

A mis padres, por la paciencia, el amor y el apoyo que me brindaron durante esta etapa de formación profesional, por enseñarme los valores de la perseverancia, el trabajo duro y la disciplina. Este proyecto es un pequeño tributo a ustedes.

A Dios, por darme la fortaleza, la salud y el carácter para poder ejercer y cumplir cada una de las pruebas puestas en el camino a la obtención de este nuevo logro.

Carlos Alfredo Ortiz Osorio.

(Dedicatoria o lema)

Querida familia, queridos mentores,

A medida que reflexionamos sobre este viaje, no podemos evitar recordar a cada una de las personas que han sido parte fundamental en este proceso. A nuestra familia, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en nosotros cuando más lo necesitábamos. Gracias por ser nuestra roca y por enseñarnos el valor de la perseverancia.

A mis mentores y profesores, cuyo conocimiento y dedicación han sido nuestra guía en este camino académico. Gracias por su paciencia, sabiduría y por desafiarnos a ir más allá de nuestros límites. Su apoyo constante y enseñanzas han moldeado nuestra mente y perspectiva, y siempre estaremos agradecidos por ello.

Este proyecto de grado no es solo nuestro, sino que también es de todos ustedes. Cada uno ha dejado una huella indeleble en nuestra vida y ha contribuido de manera significativa a este logro. Su apoyo y amor han sido la fuerza impulsora que me ha llevado hasta aquí.

Gracias totales.

Kevin Armando Mendez Epia

Agradecimientos

Agradecemos a Dios primeramente y a cada una de las personas que han brindado su granito de arena ya que con su apoyo y motivación lograron la fortaleza para la conclusión de esta etapa tan importante en nuestras vidas.

También agradecemos profundamente a los docentes que hicieron participe de esta formación, en especial a nuestro tutor Jaime Izquierdo Bautista quien gracias a su apoyo, paciencia y enseñanzas logró solidificar nuestras bases profesionales y así concluir este proyecto.

Estamos sumamente agradecidos con todos.

Resumen

En Colombia, la falta de saneamiento básico es un problema importante que afecta a gran parte de la población. Uno de los aspectos más críticos de esta situación es la insuficiente red de alcantarillado, que se extiende principalmente en las áreas rurales y periurbanas del país.

En el presente proyecto, se realizó el diseño del sistema de alcantarillado para aguas residuales en la urbanización “Acrópolis” localizada en el municipio de Palermo, Huila. En el cual se tuvo en cuenta varios factores, tales como: la topografía del terreno, la densidad poblacional, el período de diseño, el consumo neto, y la normativa local (*Resolución 330 de 2017 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio*). Es importante asegurarse de que toda la red de tubería cumpla con los parámetros hidráulicos, para finalmente determinar el diámetro adecuado y la pendiente óptima en el sistema, el cual permita una eficiente evacuación de las aguas servidas.

Con el diseño del sistema de alcantarillado ya establecido y con los planos digitalizados, se procedió a realizar el presupuesto general oficial del proyecto; donde se investiga sobre los precios de los materiales y equipos a utilizar. De igual forma, hay ciertos parámetros que se deben relacionar para la estructuración de éste mismo, los cuales son tenidos en cuenta y detallados en el presente documento.

Finalmente, se recomienda que el sistema de alcantarillado deba ser monitoreado regularmente para asegurarse de que funcione de manera adecuada y para detectar y reparar cualquier problema que surja a tiempo.

Palabras clave: Densidad poblacional, período de diseño, parámetros hidráulicos, aguas servidas.

Abstract

In Colombia, the lack of basic sanitation is a major problem that affects a large part of the population. One of the most critical aspects of this situation is the insufficient net of sewerage, which extends mainly in rural and peri-urban areas of the country.

In this project, the design of the sewage system for wastewater was carried out in the "Acropolis" urbanization located in the municipality of Palermo, Huila. In which several factors were taken into account, such as: the topography of the land, population density, the design period, net consumption, and local regulations (Resolución 330 de 2017 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio). It is important to ensure that the entire pipe network complies with the hydraulic parameters, to finally determine the proper diameter and the optimal slope in the system, which allows efficient evacuation of sewage.

With the design of the sewage system already established and with the digitalized plans, the official general budget of the project was prepared; where the prices of materials and equipment to be used are investigated. In the same way, there are certain parameters that must be related for its structuring, which are taken into account and detailed in this document.

Shortly, it is recommended that the sewage system should be regularly monitored to ensure that it is working properly and to detect and repair on time any problems that pop up.

Keywords: Population density, desing period, hydraulic parameters, sewage system.

Contenido

	Pág.
Resumen	XIII
Lista de figuras.....	XVII
Lista de tablas	XVIII
Letras de Símbolos y abreviaturas	19
Capítulo 1	21
1. Introducción	21
1.1 Antecedentes	22
1.1.1 Formulación del Problema	23
1.1.1.1 Pregunta de Investigación	24
1.2 Justificación	24
1.3 Objetivos	24
1.3.1 Objetivo General	24
1.3.2 Objetivos Específicos.....	24
1.4 Estructura del documento.....	25
1.5 Alcance y Limitaciones	26
Capítulo 2	27
2. Marco teórico	27
2.1 Redes de Saneamiento	27
2.2 Alcantarillado Sanitario	27
2.3 Infraestructura de Limpieza	28
2.3.1 Canalización de Aguas Residuales.....	28
Capítulo 3	29
3. Metodología	29
3.1 Parámetros generales de diseño	32
3.2 Caudal de diseño	32
3.2.1 Área de drenaje.....	32
3.2.2 Aportes medio diario de aguas residuales.....	33
3.2.3 Caudal medio diario de aguas residuales.....	34
3.2.4 Caudal máximo horario de aguas residuales	34

3.2.5 Caudal de infiltración	35
3.2.6 Caudal de conexiones erradas	35
3.2.7 Caudal de diseño	36
3.2.8 Cálculo hidráulico de la red de colectores	36
3.2.9 Presupuesto de obra	50
Capítulo 4	60
4. Análisis de resultados	60
4.1 Resultados para el caudal de diseño	60
4.2 Resultados de las pendientes	62
4.3 Planos	65
Capítulo 5	66
5. Conclusiones y recomendaciones	66
5.1 Conclusiones	66
Bibliografía	73

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1: Localización del proyecto.....	30
Figura 2: Topografía del terreno.....	31
Figura 3: Red del alcantarillado sanitario.....	31
Figura 4: Delimitación del área aferente al colector.....	33
Figura 5: Vista en planta tramo 9.....	65
Figura 6: Vista en perfil tramo 9.....	65

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1: Dotación neta máxima por habitante según la altitud con respecto al nivel del mar.....	50
Tabla 2: Aporte de infiltración por área drenada.....	35
Tabla 3: Coeficientes de rugosidad de Manning.....	37
Tabla 4: Borde libre en función de la relación Q/Q_0 máxima permitida.....	39
Tabla 5: Relaciones hidráulicas para conductos circulares.....	40
Tabla 6: Relación entre velocidad real y velocidad a tubo lleno.....	41
Tabla 7: Relación entre lámina de agua y diámetro interno de la tubería.....	41
Tabla 8: Relación entre radio hidráulico de la sección de flujo y radio hidráulico a tubo lleno.....	42
Tabla 9: Relación entre profundidad hidráulica de la sección de flujo y diámetro interno de la tubería.....	42
Tabla 10: Pérdida de energía por cambio de dirección.....	45
Tabla 11: Presupuesto general oficial del proyecto.....	50
Tabla 12: Listado de precios unitarios de los materiales requeridos en la ejecución del proyecto.....	53
Tabla 13: Cuadrillas de mano de obra.....	54
Tabla 14: Listado de precios unitarios de los equipos requeridos en la ejecución del proyecto.....	55
Tabla 15: Desglose del AIU.....	56
Tabla 16: sub-APU (Concreto de 3.000 P.S.I (F' C: 210 kgF/Cm ²).....	58
Tabla 17: APU del ítem 4.1 del presupuesto general.....	59
Tabla 18: Cálculo del caudal de diseño.....	61
Tabla 19: Cálculo de las pendientes (parte 1).....	63
Tabla 20: Cálculo de las pendientes (parte 2).....	64

Letras de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad	Definición
A	Área	ha	Columna 5
A _i	Área de drenaje	ha	Columna 3
C	Consumo neto	L/ha*día	Columna 7
CB _i	Cota batea colector	msnm	Columna 55
CC _i	Cota clave colector	msnm	Columna 53
CE _i	Cota energía	msnm	Columna 59
CL _i	Cota lámina de agua	msnm	Columna 57
CR	Coeficiente de retorno	%	Título 3.2.2
CR _i	Cota rasante colector	msnm	Columna 51
d	Altura de la lámina	m	Columna 43
D	Diámetro	pulgadas	Columna 28
D _i	Densidad de la población	hab	Columna 5
E	Energía específica	m	Columna 44
F	Coeficiente de mayoración	-	Columna 17
G	gravedad	m/s ²	Columna 40
H	Profundidad hidráulica	m	Columna 45
H _t	Pérdida de energía por transición	m	Columna 47
K	Factor para velocidad	-	Columna 47
K	Factor para pérdidas	-	Columna 49
NF	Número de Froude	-	Columna 46
P	Población	hab	Columna 5
P _i	Población servida	hab	Columna 6

q	Aporte unitario ponderado	L/s*ha	Columna 15
Q_0	Caudal a tubo lleno	L/s	Columna 32
$Q_{\text{calculado}}$	Caudal calculado	L/s	Columna 23
$Q_{\text{c.e}}$	Caudal de conexiones erradas	L/s	Columna 22
$Q_{\text{diseño}}$	Caudal de diseño	L/s	Columna 23
Q_D	Aporte unitario de aguas residuales	L/s*ha	Columna 7
Q_i	Caudal medio diario	L/s	Columna 16
Q_{infil}	Caudal de infiltración	L/s	Columna 20
$Q_{\text{max-hora}}$	Caudal máximo horario	L/s	Columna 18
r_c	Radio de curvatura	m	Columna 48
R	Radio hidráulico	m	Columna 41
n	Coeficiente de Manning	-	Columna 28
S	Pendiente	%	Columna 65
V	Velocidad real	m/s	Columna 39
V_0	Velocidad a tubo lleno	m/s	Columna 33

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad	Definición
π	Pi	-	Columna 33
τ	Esfuerzo cortante	N/m ²	Columna 42
γ	Densidad del agua	N/m ³	Columna 42

Capítulo 1

1. Introducción

Los seres humanos, como todo ser vivo, demandan una serie de condiciones para sostener una vida digna, entre ellas, se resalta la satisfacción de necesidades y de acuerdo con (Quintero Angarita, 2009), estas están jerarquizadas de acuerdo al grado de relevancia para la persona, según la pirámide de Maslow como máximo exponente. En ese sentido, la base de todas las necesidades radica en lo fisiológico, y es que, este tipo de necesidades son aquellas fundamentales antes de cualquier otro ámbito en la vida de las personas, por ejemplo, un ser humano tendrá la necesidad de autorrealizarse, de seguridad, de crecimiento profesional, pero de nada sirve si no tiene vitalidad y esto se consigue con la necesidad fisiológica del sueño como base todo lo demás.

A razón de lo anterior, las necesidades fisiológicas de los seres humanos corresponden a diversos orígenes, según (Riaño, 2021), estas necesidades corresponden a aquellas *“actividades relativas al mantenimiento y cuidado de la propia persona, tales como: comer, dormir, asearse, consultar al médico, convalecer, recibir un masaje, cortarse el pelo o tomarse un aperitivo”* (p. 6), sin embargo, la mayoría de estas están directamente relacionada con el agua, los fluidos y su descargue.

Entre las principales necesidades fisiológicas que involucran fluidos está el aseo de las personas, bañarse contamina el agua utilizada, y esta agua, aunque se puede reutilizar, deja de ser apta para el consumo humano (Álvarez Álvarez & Perez Puga, 2022), igualmente ocurre con el agua que se utiliza para cocinar, lavar alimentos, descargar desechos, entre otras acciones, y en todo caso, esa agua debe ser canalizada de forma objetiva, no se puede dejar a la deriva y botar a la calle, debe tener un

tratamiento especial, y para ello se crean los alcantarillados sanitarios (Montejo, Arroyo, Honorato, & Zamora, 2018).

De acuerdo con (Palma Quijije, Reyes Pin, Sánchez Rodríguez, & Lucio Villacreses, 2021) la red de alcantarillado sanitario es de suma relevancia para el desarrollo social y ambiental efectivo, pues corresponde a toda aquella red de tuberías destinadas a la evacuación de aguas residuales producto de actividades domésticas o comerciales, resaltando el aseo, la cocina, limpieza, higiene, y demás actividades que involucren fluidos en algún predio.

Las redes de alcantarillado sanitario tienen una importancia fuerte para la sociedad porque ya que de no implementarlas, se vuelven evidentes las afecciones higiénicas y de salubridad en cada uno de los predios (Guerra Herrera & Logroño Naranjo, 2019), pues de cierto modo, estas redes aportan a la sanidad del territorio, recolectando y transportando de forma asertiva las aguas negras, que de no ser drenadas así, dan paso a malos olores, bacterias, enfermedades, falta de salubridad y presencia de animales indeseables para la humanidad como ratas o moscas en zonas comunes.

En ese sentido, todas las zonas residenciales deben tener una red de alcantarillado sanitario para garantizar condiciones dignas de vida, con calidad, higiene y no presencia de animales indeseables, y la Urbanización Acrópolis no es la excepción de ello, es una zona residencial que, de cierto modo, demanda un diseño eficiente y funcional al drenaje sanitario de aguas negras producto de actividades domésticas o comerciales.

En ese sentido, el presente documento tiene por objeto determinar los caudales, diámetros y pendientes del sistema de alcantarillado para la urbanización Acrópolis, primera etapa, localizada en el municipio de Palermo departamento del Huila, para ello se debe proponer el trazado del sistema de alcantarillado sanitario de acuerdo con la normatividad vigente, así como crear un presupuesto general con sus respectivos APU's para el sistema de alcantarillado sanitario, todo con el fin de conocer todos los aspectos técnicos que involucra la propuesta y diseño del alcantarillado sanitario.

1.1 Antecedentes

La recolección, evacuación y tratamiento de las aguas desechas por la humanidad en cualquier sector del planeta es indispensable para mejorar la salud pública, uno de los grandes beneficios del

alcantarillado sanitario es la reducción de enfermedades transmitidas por el agua como por ejemplo el cólera y la fiebre tifoidea ya que estas aguas al estar lejos de las áreas residenciales disminuyen y evita la exposición directa a los agentes patógenos.

El 23 de febrero de 2018 el gobierno nacional de Colombia firmó un préstamo de USD\$30 millones con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para la ejecución del Plan Maestro de Alcantarillado de Mocoa luego de que en 2017 las fuertes lluvias provocaran el desbordamiento de los ríos Mocoa, Mulato y Sangoyaco provocando una emergencia sanitaria de salud pública. Uno de los logros de este proyecto es entregar a los afluentes hídricos las aguas descontaminadas mejorando las condiciones sanitarias y ambientales, con lo cual se logra que 2000 familias tengan acceso a un sistema de alcantarillado sanitario y adicionalmente otras 8000 viviendas cuenten con un sistema de recolección mejorado. **Fuente:** (<https://minvivienda.gov.co/plan-maestro-alcantarillado-de-mocoa/el-proyecto>).

Empresas Públicas de Medellín (EPM), en 2018 da inicio a las obras de recolección de aguas servidas de las viviendas e industrias ubicadas en el municipio de Caldas y el sector de Ancón Sur del municipio de La Estrella en el departamento de Antioquia, Colombia. El proyecto busca tomar las aguas contaminadas proveniente de 31 descargas que anteriormente caían sin su tratamiento sobre las quebradas La Mandalay y La Mansión, y transportarlas hasta la planta San Fernando en donde se realiza su descontaminación y de allí son devueltas al río Aburrá-Medellín. Con una inversión de \$190.000 millones se benefician directamente a una mejor calidad de vida 110.000 habitantes como también a la reducción drástica del impacto ambiental y recuperación de los afluentes hídricos. **Tomado de** (<https://www.metropol.gov.co/noticias/inicia-la-construcci%C3%B3n-del-interceptor-sur>).

Son muchos los sistemas de alcantarillado que se realizan en el mundo, todos siempre con el mismo fin, evacuar las aguas contaminadas, llevarlas lejos de la sociedad, descontaminarlas y devolverlas al cauce hídrico mas cercano para garantizar la salud de la población y la descontaminación ambiental.

1.1.1 Formulación del Problema

El proyecto Acrópolis cuenta con la totalidad de 344 viviendas o por decirlo de otra manera, 344 familias que se beneficiarían del servicio público que además se regula en la ley 142 de 1994 la cual aplica que cada vivienda cuente con su servicio público ya sea de acueducto, alcantarillado, aseo, electricidad, gas combustible y líneas de telefonías.

Al existir un sistema de alcantarillado en dicha urbanización, se está garantizando la sanidad humana y el control de todas las aguas servidas generadas. De lo contrario, si el proyecto se ejecuta sin un diseño adecuado para la construcción de este sistema, se verán afectados factores tanto económicos como de sanidad humana y medioambientales.

1.1.1.1 Pregunta de Investigación

¿Cómo diseñar eficazmente un sistema de alcantarillado, minimizando los costos de ejecución y operación, sin comprometer la calidad y funcionalidad del proyecto y cuánto cuesta la construcción del sistema para la primera etapa del proyecto Acrópolis?

1.2 Justificación

El sistema de alcantarillado sanitario representa uno de los servicios públicos que más carece de cobertura en nuestro país, pues aún existen zonas rurales y poblaciones vulnerables que no cuentan con acceso a servicios de agua potable y saneamiento adecuados, lo que representa un desafío para las autoridades sanitarias y la sociedad en general. El municipio de Palermo no es una excepción frente a esta situación, pues en muchas zonas rurales de éste ni siquiera existe un sistema que cumpla con los parámetros técnicos y ambientales.

La red de alcantarillado tiene como fin brindar una solución contundente a la necesidad presentada en la comunidad de la urbanización Acrópolis, ubicada a las afueras del municipio de Palermo, Huila. De tal manera que se logre evacuar las aguas servidas provenientes de las viviendas. Con ello se está mejorando el tema de la salud pública. Del mismo modo, garantiza la protección del medio ambiente, pues contribuye evitando la descarga de aguas residuales sin tratar a las fuentes hídricas, y se protege la fauna y flora acuática. Asimismo, mejora de la calidad de vida, ya que les permite tener acceso a servicios básicos. Finalmente, en el ámbito económico también puede contribuir al desarrollo de una región, pues la inversión en infraestructura y la mejora de los servicios básicos, atrae a empresas y facilita la instalación de industrias, lo que a su vez genera empleo y crecimiento económico.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar el sistema de alcantarillado para la urbanización Acrópolis, localizada en el municipio de Palermo departamento del Huila y conocer el costo de construcción de la primera etapa del sistema.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los caudales, diámetros y pendientes del sistema de alcantarillado para la urbanización Acrópolis, localizada en el municipio de Palermo departamento del Huila.

- Proponer el trazado del sistema de alcantarillado sanitario de acuerdo con la normatividad vigente.
- Proponer un presupuesto general con sus respectivos APU's para la construcción del sistema de alcantarillado sanitario para la primera etapa.

1.4 Estructura del documento

El presente documento tiene una estructura orientada hacia la objetividad y eficiencia, de modo que permita garantizar de forma ordenada y sistematizada dar cumplimiento a los objetivos descritos. Para ello se han propuesto cinco capítulos principales los cuales son:

- Capítulo 1: En éste se involucra la introducción que muestra el abrebocas del proyecto, así como el resumen de lo que se busca presentar. Seguidamente están los antecedentes que dan paso a la investigación, el contexto problemático con el cual se busca formular una pregunta de investigación que será resuelta con el proyecto. Se justifica seguidamente la razón de porque es importante el proyecto y como agrega valor social, expresando los objetivos del proyecto y el alcance que se tiene.
- Capítulo 2: Permite dar sustento teórico al proyecto, en este capítulo se involucra toda la investigación teórica que da paso al cumplimiento de objetivos, por ejemplo, expone que es un sistema de alcantarillado y de qué forma opera, para ello, se involucran teorías, conceptos, situaciones y demás aspectos relevantes para la investigación de alcantarillado sanitario.
- Capítulo 3: Capítulo metodológico, en esta sección del documento se asocian todos los pasos y métodos para cumplir los objetivos, se expresa la forma o el camino sobre el cual se da paso a la investigación para conseguir el diseño y realizar la propuesta del sistema de alcantarillado sanitario.
- Capítulo 4: Análisis de resultado. En esta sección se realiza todo lo competente a análisis la propuesta metodológica puesta en marcha, evaluando el diseño del sistema propuesto para el alcantarillado sanitario.

- Capítulo 5: Es la última sección formal del documento se desarrollan las conclusiones sobre todo lo realizado en la construcción del proyecto, relacionando los principales hallazgos y la relación teórica con la práctica.

Ajeno a los cinco capítulos descritos, el documento cuenta inicialmente con un resumen ejecutivo que muestra lo que se presentará en el documento y la metodología para llevar a cabo ese objetivo, asimismo, están las figuras y tablas, así como los agradecimientos previos y la dedicatoria del proyecto. Al final del documento se encuentran citado en las normas APA de la Séptima Versión, las fuentes y autores que dan soporte teórico al proyecto para llevar a cabo el capítulo 1 y 2.

1.5 Alcance y Limitaciones

El municipio donde se realizará el proyecto se llama Palermo, y se encuentra en el departamento del Huila, el cual está ubicado en el Sur de Colombiana, y lo rodean departamentos como: Caquetá, Cauca, Meta, Tolima, Valle del Cauca Y Putumayo. En el presente proyecto se establecen las condiciones requeridas para la concepción y el desarrollo de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales, considerados como convencionales.

La función del alcantarillado sanitario es recolectar las aguas residuales y transportarlas hacia las PTAR, asegurando una descontaminación de las mismas y la devolución a las fuentes hídricas para preservar la salud pública y el medio ambiente.

Con el presente se establece el diseño de todo el sistema de alcantarillado necesario en el proyecto Acrópolis, el cual se divide en dos etapas. Inicialmente se realizará la construcción de la etapa 1, de la cual deberá incluir un presupuesto general. La etapa 2 será tomada en cuenta para el cálculo y diseño del sistema total. Finalmente se deberá establecer unas recomendaciones de la operación de este sistema y sus componentes.

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1 Redes de Saneamiento

Aunque es un término complejo, la red de saneamiento hace referencia a la infraestructura que transporta las aguas residuales o la escorrentía superficial mediante tuberías o cloacas (Palma Quijiie, Reyes Pin, Sánchez Rodríguez, & Lucio Villacreses, 2021). Las redes de saneamiento están compuestas de tuberías de tipo Sanitario o Pluvial, y en todo caso, el objetivo de estas es recolectar el agua y llevarlo a través de las tuberías al sitio especializado de descargue.

2.2 Alcantarillado Sanitario

De acuerdo con (Grupo EPM, 2022), el alcantarillado sanitario es un *“sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas y/o industriales”*, y tiene por objetivo canalizar las aguas que no son aptas para el consumo humano, aguas que ya han cumplido su objetivo y de cierto modo han satisfecho alguna necesidad de las personas, como el consumo, limpieza de alimentos, aseo, higiene o que simplemente se ha contaminado.

El sistema de alcantarillado es fundamental en una urbanización porque tiene un impacto directo en la salud pública, el medio ambiente, la calidad de vida y el valor de la propiedad.

Es necesario resaltar que las redes de alcantarillado sanitario se distinguen frente a las redes de alcantarillado pluvial por el objetivo y las aguas que manejan; mientras lo sanitario se concentra en las aguas residuales de predios, casas, apartamentos o establecimientos comerciales e industriales, las redes pluviales se enfocan únicamente en los factores que determinan recurso hídrico de la lluvia.

Para el cálculo y diseño del sistema de alcantarillado del presente proyecto se tendrá como referencia el procedimiento detallado del diseño de uno de los tramos como se demuestra en el *Capítulo 15* del libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla*.

2.3 Infraestructura de Limpieza

Para garantizar una calidad de vida, las sociedades deben implementar diversos mecanismos de limpieza, entre ellos, la canalización de aguas residuales, ya que, de no existir una infraestructura de alcantarillado sanitario, sería imposible drenar aguas negras y contaminadas por actividades de los seres humanos, y estas aguas promueven enfermedades, plagas, contaminación, falencias de todo tipo que, gracias a su despeje, promueven una calidad de vida (López, 2022).

2.3.1 Canalización de Aguas Residuales

En ese sentido amplio, la canalización de aguas residuales juega un rol fundamental y determinante en ese desarrollo social eficiente, pues como se ha podido determinar, es un factor que de cierto modo da paso a higiene, limpieza, sanidad, factores que no son posibles sin una canalización objetiva de estos residuos, y es que, de acuerdo con (Sánchez Montero, 2020), cuando una comunidad no tiene una canalización y drenaje de aguas negras y residuales que se han contaminado por actividades humanas, las enfermedades se hacen evidentes, y es que, esta agua no es apta para el consumo humano, entonces, darle una segunda oportunidad de utilización solo para deshacer pero para limpieza y consumo no se considera eficiente, y por ello es importante la canalización.

Capítulo 3

3. Metodología

En este capítulo se presenta la metodología empleada para el diseño del sistema de alcantarillado sanitario en el proyecto “Acrópolis”, ubicado en el municipio de Palermo.

Mediante el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) se tiene en cuenta el crecimiento poblacional calculando la población futura con un periodo de diseño de 25 años según lo estipula la resolución 0330 de 08 de junio de 2017; respecto a los planos suministrados por la constructora del proyecto Acrópolis y teniendo en cuenta la topografía del terreno se hace el trazado de la red y los pozos correspondientes a la recolección de las aguas negras dependiendo el uso de los recintos que pueden ser residenciales o comerciales, seguidamente conociendo el caudal de cada una de las viviendas y mediante áreas aferentes se calcula el caudal máximo que transportará cada tramo sin olvidar el acumulado de los anteriores que conectan con él.

Este cálculo se hace teniendo en cuenta que cada una de las viviendas generen una descarga en todos sus aparatos sanitarios al mismo tiempo (Simultaneidad). Con este método se garantiza un sistema mucho más seguro de no colapsar.

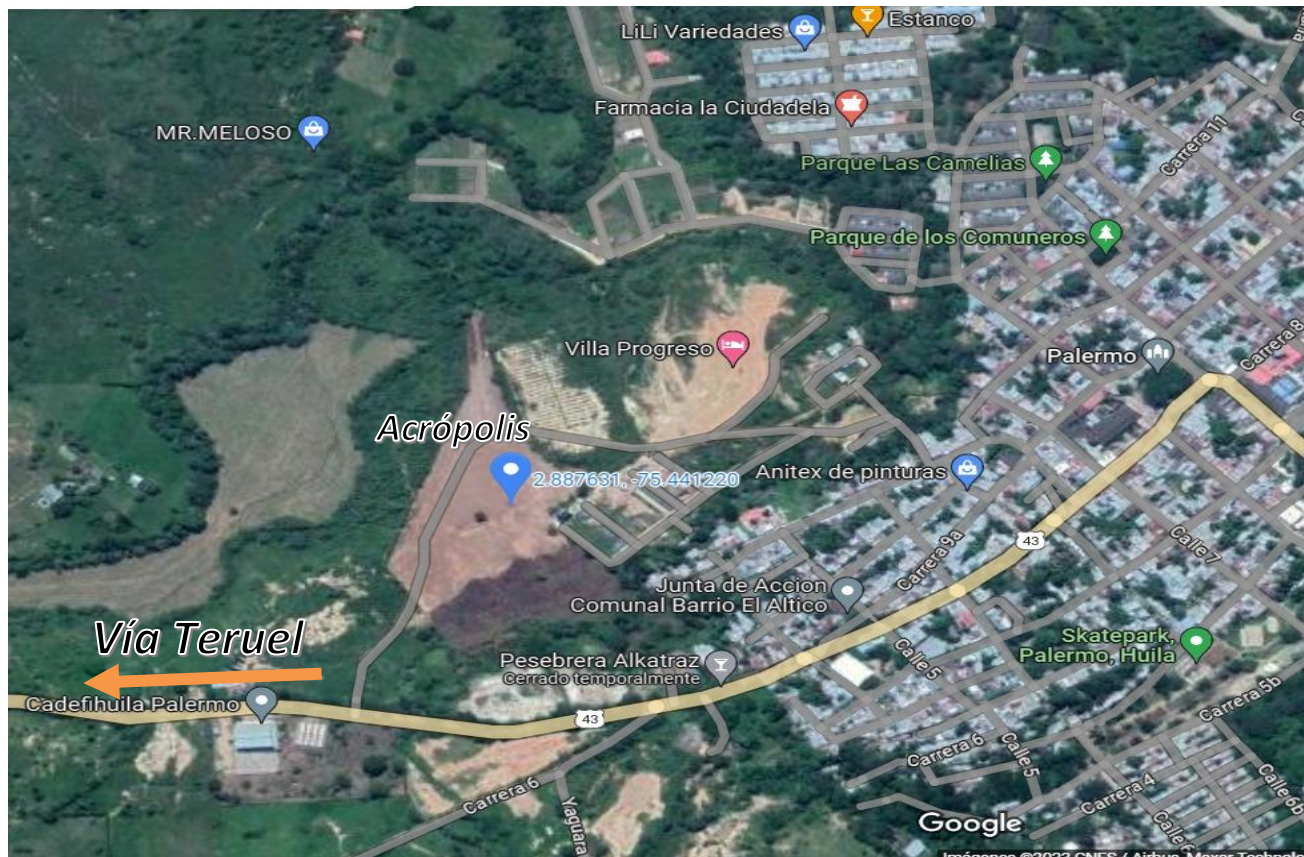
Sobre el plano de loteo donde se ejecutará el proyecto, se hace el trazado de la red de colectores, se seleccionan los tramos iniciales y se numeran los pozos (25 pozos en la primera etapa y 14 pozos en la segunda) teniendo en cuenta la topografía del terreno, el funcionamiento por gravedad del sistema y los criterios de localización de tuberías.

Se realiza el respectivo cálculo para los pozos que son necesarios en la presente red de alcantarillado; y se ha tomado como ejemplificación dar el paso a paso de la conexión en los colectores 9-10, la cual veremos a continuación:

Lo que primero se debe llevar a cabo es determinar el área de drenaje aferente a cada colector, trazando las diagonales sobre cada tramo. Una vez hecho esto, se procede a calcular el caudal de aguas residuales.

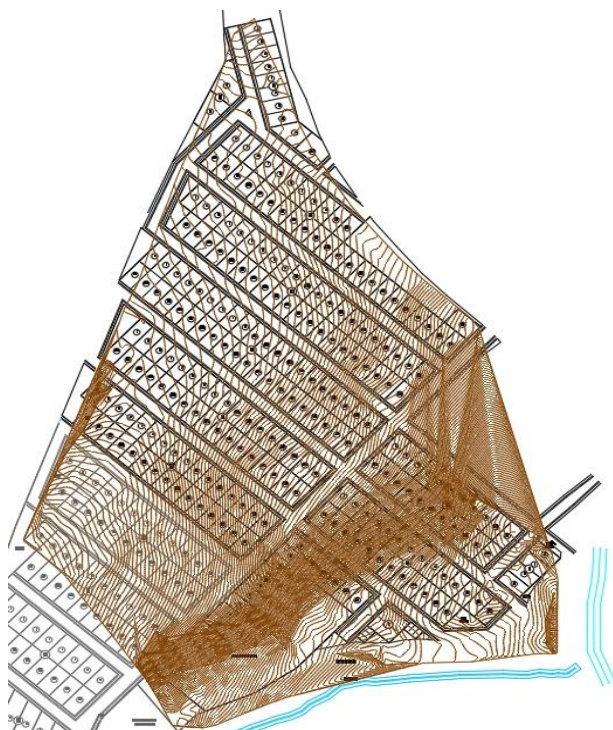
Localización del proyecto: El proyecto acrópolis se encuentra localizado en Palermo, Huila. Existe doble acceso a este plan de vivienda unifamiliar; el primero se encuentra por la carrera 10A con calle 6A y el segundo por el kilómetro 1 de la vía que comunica al municipio de Teruel.

: Localización del proyecto



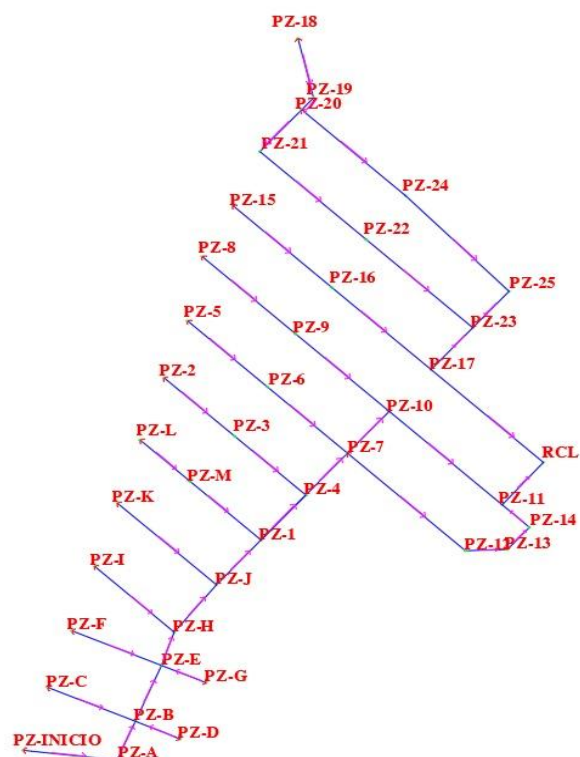
Fuente: Tomada de Google Maps.

Figura 2: Topografía del terreno



Fuente: Suministrada por la constructora del proyecto.

Figura 3: Red del alcantarillado sanitario



3.1 Parámetros generales de diseño

Período de diseño: se diseña para un período de 25 años.

Población de diseño:

Año: 2023 – Población(habitantes): 2064

Año 2048 – Población(habitantes): 2752

Densidad de la población (hab/ha): $\frac{344 \text{ viviendas} \times 6 \text{ habitantes}}{3 \text{ ha}} = 688 \text{ hab/ha}$.

Consumo neto (L/hab*día) Según la tabla 1 del artículo 43 de la resolución 0330 del 2017, el consumo neto será de 140L/hab*día, dado que en el terreno donde será el proyecto tiene una altura promedio sobre el nivel del mar menor a 1000 m.s.n.m.

Tabla 1: Dotación neta máxima por habitante según la altitud con respecto al nivel del mar

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Fuente: Artículo 43 de la Resolución 330 de 2017 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

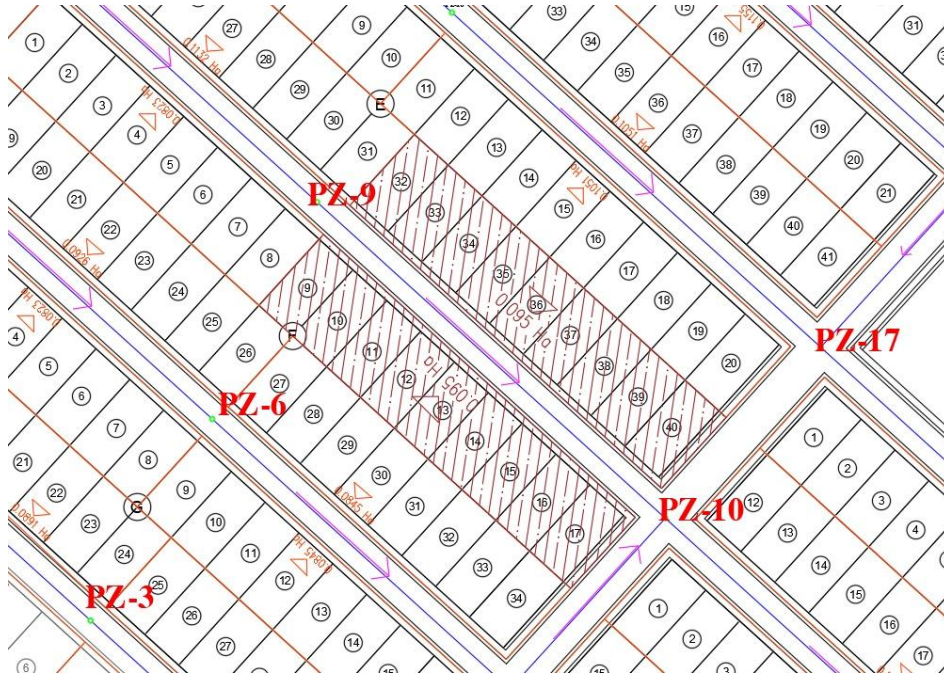
3.2 Caudal de diseño

Partiendo desde la información anterior, se elabora la tabla 4.1 del presente proyecto, en la que se calcula el caudal de diseño de cada colector con los criterios establecidos a continuación:

3.2.1 Área de drenaje

Columna 1. Numeración de colector: Columna donde se especifica el nombre de cada tramo respecto a sus colectores y sentido de descarga. Por ejemplo, el Pozo 9 descarga en el Pozo 10, por consiguiente, este tramo se llamará PZ9-PZ10.

Columna 2: Área parcial (ha): Hace referencia al área aferente a cada colector. De acuerdo con la Figura 3.5, el área aferente para el presente tramo es de 0.19ha, donde por cada costado aporta 0.095ha al tramo.

Figura 4: Delimitación del área aferente al colector

Columna 3.: Área total de drenaje (hectáreas): Se acumula el área de drenaje de los pozos aguas arriba del pozo en cuestión. Para el colector 9-10, se acumula el área parcial del colector 8-9.

$$A_i = A_{aferente} + A_{aguas\ arriba}$$

$$A_i = 0.19ha + 0.196ha$$

$$A_i = 0.386ha$$

3.2.2 Aportes medio diario de aguas residuales

Para determinar el coeficiente de retorno se debe contar con información existente y/o mediciones de campo suministradas por la entidad prestadora de servicio. En caso de no contar con datos de campo, se adopta un coeficiente de retorno (CR) del 85%, según el artículo 134 de la resolución 0330 del 2017.

Columna 4. Porcentaje de área: Hace referencia al porcentaje del área para uso doméstico. En el presente colector, será del 100%, dado que todo su uso será para fines domésticos.

Columna 5. Densidad de población: Es la densidad de población del área aferente al colector.

$$D_i = \frac{P}{A} = \frac{2064hab}{3ha} = 688hab/ha$$

Columna 6. Población servida (habitantes): Es una cantidad estimada de habitantes servidos por el colector, donde se tiene en cuenta la densidad de población en cada zona. Para el presente tramo, se debe incluir el área aferente y aguas arriba.

$$P_i = A_{i \text{ aferente}} * D_i + \sum P_{\text{aguas arriba}}$$

$$P_i = (0.19ha * 688hab) + 135hab$$

$$P_i = 266hab$$

Columna 7. Aporte unitario de aguas residuales domésticas (L/s*ha): Es el mismo para todos los colectores, siempre y cuando no cambien la densidad de población o de consumo de agua. El artículo 134 de la resolución 0330 del 2017, estipula que cuando se utilice proyección de población, se debe emplear la siguiente ecuación:

$$Q_D = \frac{CR \times C \times D_i}{86400} = \frac{0.85 * 140 * 688}{86400} = 0.948 \text{ L/s*ha}$$

Columna 8, 10 y 12. Porcentaje de área: Hace referencia al porcentaje de área aferente destinada para uso industrial, comercial e institucional. En el proyecto de Acrópolis, sólo un par de tramos serán utilizados para uso comercial, los demás aplican en uso doméstico (como en el presente tramo del colector que se está calculando).

Columnas 9, 11 y 13. Aporte industrial, comercial e institucional. Son aportes unitarios definidos según las recomendaciones mencionadas en los numerales 15.1.2, 15.1.3 y 15.1.4 del libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla*. Los cuales no aplican en el presente colector.

Columna 14. Sumatoria de los caudales según su uso por cada tramo, el cual siempre será 100%

3.2.3 Caudal medio diario de aguas residuales

Columna 15. Aporte unitario ponderado (L/s*ha): Es un promedio ponderado de los aportes unitarios aferentes a cada colector con el porcentaje del uso del suelo. Para el presente tramo se tiene:

$$q = \sum q_i * \%_i = (0.948 * 100/100) + 0 + 0 + 0 = 0.948 \text{ L/s*ha}$$

Columna 16. Caudal medio diario de aguas residuales (L/s): Aporte que corresponde al área aferente más los caudales recibidos por el colector aguas arriba. Para el presente tramo se tiene:

$$Q_i = q_i * A_i + \sum Q_{\text{aguas arriba}}$$

$$Q_i = (0.948 * 0.19) + 0.185 = 0.365 \text{ L/s}$$

3.2.4 Caudal máximo horario de aguas residuales

Columna 17. Coeficiente de mayoración (F): Es un factor que tiene en cuenta las variaciones en el consumo de agua por parte de la población. Además, es inversamente proporcional al número de habitantes servidos (mientras estos incrementan, el coeficiente de mayoración disminuye). Según la ecuación de Harmon, mencionada en el título 15.1.6 del libro *Elementos de diseño para acueductos y*

alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla, para una población entre 1000 y 1'000.000 de habitantes, se expresa de la siguiente forma:

$$F = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}} = \frac{18 + \sqrt{\left(\frac{266}{1000}\right)}}{4 + \sqrt{\left(\frac{266}{1000}\right)}} = 4.1$$

Columna 18. Caudal máximo horario de aguas residuales (L/s): Corresponde al resultado del caudal medio diario de aguas residuales por el coeficiente de mayoración anterior. Para el presente tramo se tiene:

$$Q_{max-hora.} = 0.365L/s * 4.1 = 1.50L/s$$

3.2.5 Caudal de infiltración

Columna 19. Coeficiente de infiltración (L/s*ha): Coeficiente que depende del tipo de suelo y de la unión empleados en las tuberías. Siguiendo la recomendación dada en el numeral 15.1.7 del libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003)* – Ricardo Alfredo López Cualla, se toma un coeficiente único (0,4) para toda la zona:

Tabla 2: Aporte de infiltración por área drenada

Aporte de infiltración por área drenada
RAS-2000

Infiltración (L/s*ha)		
Alta	Media	Baja
0,15 - 0,4	0,1 - 0,3	0,05 - 0,2

Fuente: *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003)* – Ricardo Alfredo López Cualla.

Columna 20. Caudal de infiltración (L/s): Es producido por la entrada del agua que se encuentra por debajo del nivel freático del suelo a través de las uniones entre tramos de tuberías, de fisuras en el tubo y en las uniones de conexión de tubería con las estructuras de los pozos de inspección. Se calcula en este caso como el producto del área total drenada por el coeficiente anterior.

$$Q_{infil.} = \frac{0.4L}{s*ha} * 0.386ha = 0.15L/s$$

3.2.6 Caudal de conexiones erradas

Columna 21. Coeficiente de conexiones erradas (L/s*ha): Depende del nivel de control en la administración del sistema y de la existencia o no de un sistema de alcantarillado pluvial. Para el presente proyecto, según el numeral 15.1.8 del libro *Elementos de diseño para acueductos y*

alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla, se toma un coeficiente máximo y único para toda la zona (2L/s*ha).

Columna 22. Caudal de conexiones erradas (L/s): Proviene en especial por las conexiones que equivocadamente se hacen de las aguas lluvias domiciliarias y de conexiones clandestinas. Se calcula como el producto entre el área total drenada por el coeficiente anterior.

$$Q_{c.e} = 2L/s*ha \ 0.386ha = 0.77L/s$$

3.2.7 Caudal de diseño

Columna 23. Caudal de diseño calculado (L/s): Es la sumatoria entre los caudales máximo horario de aguas residuales, infiltración y conexiones erradas. Para el presente tramo se tiene:

$$Q_{calculado} = 0.77L/s + 1.50L/s + 0.15L/s = 2.42L/s$$

Columna 24. Caudal de diseño adoptado (L/s): Por seguridad, si el caudal calculado es menor de 1.5L/s, se recomienda diseñar la tubería para un caudal con este valor, y si es mayor que éste, se tomará el caudal calculado. En el presente tramo corresponde un caudal de diseño de 2.42L/s.

3.2.8 Cálculo hidráulico de la red de colectores

Columna 25. Longitud del colector (m): En esta columna se relaciona la longitud de cada uno de los colectores tomado de pozo a pozo. La distancia del colector PZ9-PZ10 es 71.30 m.

Columna 26. Caudal de diseño (L/s): Acá se refleja el Caudal de diseño correspondiente a cada uno de los colectores los cuales se reflejan en la columna 24. El caudal de diseño obtenido para el colector PZ9-PZ10 es de 2.42 L/s.

Columna 27. Pendiente del colector (%): Los valores de esta columna corresponden a las pendientes de los colectores donde el valor inicial se debe calcular con profundidad entre 0.80 y 1.20 m a la cota clave, según en el Capítulo 15.4 del libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla*. Sin embargo, este valor se puede modificar posteriormente dependiendo los resultados obtenidos de Borde libre, Esfuerzo cortante y Velocidad mínima, los cuales se controlan con la profundidad de salida y llegada del colector a la cota clave. Para el tramo del Pozo 9 al Pozo 10 las profundidades a cota clave tanto de salida como de llegada es de 1.24 y 1.30 m respectivamente. Con estas profundidades se obtiene una pendiente de 4.45%, el procedimiento de cálculo se detalla más adelante en la Columna 65.

Columna 28. Diámetro teórico de la tubería (m): El diámetro teórico de la tubería se calcula mediante la ecuación de Manning en términos del caudal descritas en el capítulo 14.3.5.1. del Libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla*.

$$Q = 0.312 \left(\frac{D^{8/3} S^{1/2}}{n} \right)$$

De la anterior ecuación se despeja el diámetro “D”.

$$D = 1.548 \left(\frac{n Q}{S^{1/2}} \right)^{3/8}$$

El coeficiente de rugosidad de Manning depende del material con el que está hecho el colector. En este proyecto se usará tubería PVC, que según la tabla 8.1 del libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla* (ver figura 3.7), el valor del coeficiente de rugosidad “n” para tubería en este material es igual a 0.009 pudiendo optar valor de 0.010.

Tabla 3: Coeficientes de rugosidad de Manning

Material	Coeficiente de rugosidad, n
Asbesto cemento	0,010
Concreto liso	0,012
Concreto rugoso	0,014
Ladrillo	0,016
Ladrillo vitrificado	0,014
Metal corrugado	0,022
Hierro fundido	0,015
Plástico	0,009

Fuente: *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla.*

Se detalla el cálculo del diámetro teórico para el colector que se viene analizando, PZ9-PZ10.

$$D_{PZ9-PZ10} = 1.548 \left(\frac{0.01 \left(\frac{2.42}{100} \right)}{4.45^{1/2}} \right)^{3/8} = 0.052 \text{ m}$$

Columna 29. Diámetro teórico del colector en pulgadas (“): Sabiendo que una pulgada (1”) es igual a 0.0254 m, se convierte el valor obtenido en la Columna 28.

$$D_{PZ10-PZ11} = 0.052 \text{ m} \frac{1.0''}{0.0254 \text{ m}} = 2.0''$$

Columna 30. Diámetro nominal de la tubería en pulgadas (“): En los sistemas de alcantarillado, este valor no debe ser menor a 8” (200 mm), con excepción a poblaciones pequeñas con recursos económicos limitados o para sistemas condominales el cual se puede adoptar como diámetro mínimo 6” (150mm), esto según lo descrito en el capítulo 15.4 del libro *Elementos de diseño para acueductos*

y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla y en el Artículo 140 de la Resolución 330 de 2017 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Como el diámetro nominal del colector PZ9-PZ10 da un valor de 2.0", se adopta este valor como 8" (200 mm).

Columna 31. Diámetro real interno de la tubería (m): Este valor debe ser mayor o igual al obtenido en el Diámetro teórico que se calculó en la Columna 28.

$$2.0" < 8" (0.200 \text{ m}) \quad \text{Cumple!!}$$

Se define entonces que el diámetro real y comercial del para el colector PZ9-PZ10 es de 8" (0.20 m).

Columna 32. Caudal a tubo lleno (L/s): Esta columna hace referencia a la capacidad máxima que la tubería tiene para transportar caudal en el colector. Se calcula mediante la ecuación de Manning en términos de caudal según la ecuación 14.4 del capítulo 14.3.5.1. del Libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla*.

Se determina el caudal a tubo lleno para el colector usado de ejemplo.

$$Q_0 = 0.312 \left(\frac{D^{8/3} S^{1/2}}{n} \right) * 1000$$

$$Q_0 = 312 \left(\frac{0.20^{8/3} \left(\frac{4.45}{100} \right)^{1/2}}{0.01} \right) = 90.0 \text{ L/s}$$

Columna 33. Velocidad a tubo lleno (m/s): La velocidad a tubo lleno se calcula con la ecuación de continuidad expresada en el libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla*.

$$V_0 = \frac{Q_0}{A} \rightarrow V_0 = \frac{\frac{90.0}{1000} * 4}{\pi (0.20)^2} = 2.86 \text{ m/s}$$

Columna 34. Relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno: Esta relación permite determinar el borde libre requerido el cual debe respetar los valores máximos estipulados en la Tabla 15.4 del libro citado.

Tabla 4: Borde libre en función de la relación Q/Q_0 máxima permitida

Diámetro de la tubería	Q/Q_0 máxima
200 mm - 600 mm	0,6
600 mm - 1200 mm	0,7
> 1.200 mm	0,9

Fuente: *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* – Ricardo Alfredo López Cualla.

El colector PZ9-PZ10 tiene un diámetro de tubería de 200 mm, lo que quiere decir que la relación de caudales para este tramo no debe exceder el valor de 0.6.

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{2.42}{90.0} = 0.03$$

Una vez se calcula la relación entre caudales hay que dirigirse a la Tabla 8.2 del libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003)* – Ricardo Alfredo López Cualla, para determinar las relaciones hidráulicas V/V_0 ; d/D ; R/R_0 ; H/D las cuales se detallan en el procedimiento de las columnas 36, 37, 38 y 39 respectivamente.

Tabla 5: Relaciones hidráulicas para conductos circulares

Q/Q _o	Rel.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	V/V _o	0,000	0,292	0,362	0,400	0,427	0,453	0,473	0,492	0,505	0,520
	d/D	0,000	0,092	0,124	0,148	0,165	0,182	0,196	0,210	0,220	0,232
	R/R _o	0,000	0,239	0,315	0,370	0,410	0,449	0,481	0,510	0,530	0,554
	H/D	0,000	0,041	0,067	0,086	0,102	0,116	0,128	0,140	0,151	0,161
0,1	V/V _o	0,540	0,553	0,570	0,580	0,590	0,600	0,613	0,624	0,634	0,645
	d/D	0,248	0,258	0,270	0,280	0,289	0,298	0,308	0,315	0,323	0,334
	R/R _o	0,586	0,606	0,630	0,650	0,668	0,686	0,704	0,716	0,729	0,748
	H/D	0,170	0,179	0,188	0,197	0,205	0,213	0,221	0,229	0,236	0,244
0,2	V/V _o	0,656	0,664	0,672	0,680	0,687	0,695	0,700	0,706	0,713	0,720
	d/D	0,346	0,353	0,362	0,370	0,379	0,386	0,393	0,400	0,409	0,417
	R/R _o	0,768	0,780	0,795	0,809	0,824	0,836	0,848	0,860	0,874	0,886
	H/D	0,251	0,258	0,266	0,273	0,280	0,287	0,294	0,300	0,307	0,314
0,3	V/V _o	0,729	0,732	0,740	0,750	0,755	0,760	0,768	0,776	0,781	0,787
	d/D	0,424	0,431	0,439	0,447	0,452	0,460	0,468	0,476	0,482	0,488
	R/R _o	0,896	0,907	0,919	0,931	0,938	0,950	0,962	0,974	0,983	0,992
	H/D	0,321	0,328	0,334	0,341	0,348	0,354	0,361	0,368	0,374	0,381
0,4	V/V _o	0,796	0,802	0,806	0,810	0,816	0,822	0,830	0,834	0,840	0,845
	d/D	0,498	0,504	0,510	0,516	0,523	0,530	0,536	0,542	0,550	0,557
	R/R _o	1,007	1,014	1,021	1,028	1,035	1,043	1,050	1,056	1,065	1,073
	H/D	0,388	0,395	0,402	0,408	0,415	0,422	0,429	0,436	0,443	0,450
0,5	V/V _o	0,850	0,855	0,860	0,865	0,870	0,875	0,880	0,885	0,890	0,895
	d/D	0,563	0,570	0,576	0,582	0,588	0,594	0,601	0,608	0,615	0,620
	R/R _o	1,079	1,087	1,094	1,100	1,107	1,113	1,121	1,125	1,129	1,132
	H/D	0,458	0,465	0,472	0,479	0,487	0,494	0,502	0,510	0,518	0,526
0,6	V/V _o	0,900	0,903	0,908	0,913	0,918	0,922	0,927	0,931	0,936	0,941
	d/D	0,626	0,632	0,639	0,645	0,651	0,658	0,666	0,672	0,678	0,686
	R/R _o	0,136	1,139	1,143	1,147	1,151	1,155	1,160	1,163	1,167	1,172
	H/D	0,534	0,542	0,550	0,559	0,568	0,576	0,585	0,595	0,604	0,614
0,7	V/V _o	0,945	0,951	0,955	0,958	0,961	0,965	0,969	0,972	0,975	0,980
	d/D	0,692	0,699	0,705	0,710	0,719	0,724	0,732	0,738	0,743	0,750
	R/R _o	1,175	1,179	1,182	1,184	1,188	1,190	1,193	1,195	1,197	1,200
	H/D	0,623	0,633	0,644	0,654	0,665	0,677	0,688	0,700	0,713	0,725
0,8	V/V _o	0,984	0,987	0,990	0,993	0,997	1,001	1,005	1,007	1,011	1,015
	d/D	0,756	0,763	0,770	0,778	0,785	0,791	0,798	0,804	0,813	0,820
	R/R _o	1,202	1,205	1,208	1,211	1,214	1,216	1,219	1,219	1,215	1,214
	H/D	0,739	0,753	0,767	0,783	0,798	0,815	0,833	0,852	0,871	0,892
0,9	V/V _o	1,018	1,021	1,024	1,027	1,030	1,033	1,036	1,038	1,039	1,040
	d/D	0,826	0,835	0,843	0,852	0,860	0,868	0,876	0,884	0,892	0,900
	R/R _o	1,212	1,210	1,207	1,204	1,202	1,200	1,197	1,195	1,192	1,190
	H/D	0,915	0,940	0,966	0,995	1,027	1,063	1,103	1,149	1,202	1,265
1,0	V/V _o	1,041	1,042	1,042							
	d/D	0,914	0,920	0,931							
	R/R _o	1,172	1,164	1,150							
	H/D	1,344	1,445	1,584							

siendo: Q = caudal de diseño Q_o = caudal a tubo lleno
V = velocidad de diseño V_o = velocidad a tubo lleno
d = lámina de agua D = diámetro de la tubería
R = radio hidráulico al caudal de diseño
R_o = radio hidráulico a tubo lleno
H = profundidad hidráulica
n = número de Manning a caudal de diseño
n_o = número de Manning a tubo lleno

Fuente: Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla.

Columna 35. Relación entre velocidad real y velocidad a tubo lleno (V/V_0): Como el valor obtenido en la relación de caudales es 0.03 entonces, hay que dirigirse a la tabla y se busca el bloque de filas con el primer decimal que para este caso es “0.0” e inmediatamente se identifica el valor de la centésima obtenida “3”. El valor para esta relación es el dato de la intercepción.

Tabla 6: Relación entre velocidad real y velocidad a tubo lleno

Q/Q ₀	Rel.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	V/V ₀	0,000	0,292	0,362	0,400	0,427	0,453	0,473	0,492	0,505	0,520
	d/D	0,000	0,092	0,124	0,148	0,165	0,182	0,196	0,210	0,220	0,232
	R/R ₀	0,000	0,239	0,315	0,370	0,410	0,449	0,481	0,510	0,530	0,554
	H/D	0,000	0,041	0,067	0,086	0,102	0,116	0,128	0,140	0,151	0,161
0,1	V/V ₀	0,540	0,553	0,570	0,580	0,590	0,600	0,613	0,624	0,634	0,645
	d/D	0,248	0,258	0,270	0,280	0,289	0,298	0,308	0,315	0,323	0,334
	R/R ₀	0,586	0,606	0,630	0,650	0,668	0,686	0,704	0,716	0,729	0,748
	H/D	0,170	0,179	0,188	0,197	0,205	0,213	0,221	0,229	0,236	0,244
0,2	V/V ₀	0,656	0,664	0,672	0,680	0,687	0,695	0,700	0,706	0,713	0,720
	d/D	0,346	0,353	0,362	0,370	0,379	0,386	0,393	0,400	0,409	0,417
	R/R ₀	0,768	0,780	0,795	0,809	0,824	0,836	0,848	0,860	0,874	0,886
	H/D	0,251	0,258	0,266	0,273	0,280	0,287	0,294	0,300	0,307	0,314

$$\frac{V}{V_0} = 0.400$$

Columna 36. Relación entre lámina de agua y diámetro interno de la tubería (d/D): En el mismo bloque de filas y la misma columna de la centésima del valor obtenido (0.03) se determina la relación d/D.

Tabla 7: Relación entre lámina de agua y diámetro interno de la tubería

Q/Q ₀	Rel.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	V/V ₀	0,000	0,292	0,362	0,400	0,427	0,453	0,473	0,492	0,505	0,520
	d/D	0,000	0,092	0,124	0,148	0,165	0,182	0,196	0,210	0,220	0,232
	R/R ₀	0,000	0,239	0,315	0,370	0,410	0,449	0,481	0,510	0,530	0,554
	H/D	0,000	0,041	0,067	0,086	0,102	0,116	0,128	0,140	0,151	0,161
0,1	V/V ₀	0,540	0,553	0,570	0,580	0,590	0,600	0,613	0,624	0,634	0,645
	d/D	0,248	0,258	0,270	0,280	0,289	0,298	0,308	0,315	0,323	0,334
	R/R ₀	0,586	0,606	0,630	0,650	0,668	0,686	0,704	0,716	0,729	0,748
	H/D	0,170	0,179	0,188	0,197	0,205	0,213	0,221	0,229	0,236	0,244
0,2	V/V ₀	0,656	0,664	0,672	0,680	0,687	0,695	0,700	0,706	0,713	0,720
	d/D	0,346	0,353	0,362	0,370	0,379	0,386	0,393	0,400	0,409	0,417
	R/R ₀	0,768	0,780	0,795	0,809	0,824	0,836	0,848	0,860	0,874	0,886
	H/D	0,251	0,258	0,266	0,273	0,280	0,287	0,294	0,300	0,307	0,314

$$\frac{d}{D} = 0.148$$

Columna 37. Relación entre radio hidráulico de la sección de flujo y radio hidráulico a tubo lleno (R/R_0): Del mismo bloque de filas y la misma columna de la centésima del valor obtenido (0.03) se determina R/R_0 .

Tabla 8: Relación entre radio hidráulico de la sección de flujo y radio hidráulico a tubo lleno

Q/Q ₀	Rel.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	V/V ₀	0,000	0,292	0,362	0,400	0,427	0,453	0,473	0,492	0,505	0,520
	d/D	0,000	0,092	0,124	0,148	0,165	0,182	0,196	0,210	0,220	0,232
	R/R ₀	0,000	0,239	0,315	0,370	0,410	0,449	0,481	0,510	0,530	0,554
	H/D	0,000	0,041	0,067	0,086	0,102	0,116	0,128	0,140	0,151	0,161
0,1	V/V ₀	0,540	0,553	0,570	0,580	0,590	0,600	0,613	0,624	0,634	0,645
	d/D	0,248	0,258	0,270	0,280	0,289	0,298	0,308	0,315	0,323	0,334
	R/R ₀	0,586	0,606	0,630	0,650	0,668	0,686	0,704	0,716	0,729	0,748
	H/D	0,170	0,179	0,188	0,197	0,205	0,213	0,221	0,229	0,236	0,244
0,2	V/V ₀	0,656	0,664	0,672	0,680	0,687	0,695	0,700	0,706	0,713	0,720
	d/D	0,346	0,353	0,362	0,370	0,379	0,386	0,393	0,400	0,409	0,417
	R/R ₀	0,768	0,780	0,795	0,809	0,824	0,836	0,848	0,860	0,874	0,886
	H/D	0,251	0,258	0,266	0,273	0,280	0,287	0,294	0,300	0,307	0,314

$$\frac{R}{R_0} = 0.370$$

Columna 38. Relación entre profundidad hidráulica de la sección de flujo y diámetro interno de la tubería (H/D): Igualmente con los parámetros anteriormente mencionados se halla el valor de H/D .

Tabla 9: Relación entre profundidad hidráulica de la sección de flujo y diámetro interno de la tubería

Q/Q ₀	Rel.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	V/V ₀	0,000	0,292	0,362	0,400	0,427	0,453	0,473	0,492	0,505	0,520
	d/D	0,000	0,092	0,124	0,148	0,165	0,182	0,196	0,210	0,220	0,232
	R/R ₀	0,000	0,239	0,315	0,370	0,410	0,449	0,481	0,510	0,530	0,554
	H/D	0,000	0,041	0,067	0,086	0,102	0,116	0,128	0,140	0,151	0,161
0,1	V/V ₀	0,540	0,553	0,570	0,580	0,590	0,600	0,613	0,624	0,634	0,645
	d/D	0,248	0,258	0,270	0,280	0,289	0,298	0,308	0,315	0,323	0,334
	R/R ₀	0,586	0,606	0,630	0,650	0,668	0,686	0,704	0,716	0,729	0,748
	H/D	0,170	0,179	0,188	0,197	0,205	0,213	0,221	0,229	0,236	0,244
0,2	V/V ₀	0,656	0,664	0,672	0,680	0,687	0,695	0,700	0,706	0,713	0,720
	d/D	0,346	0,353	0,362	0,370	0,379	0,386	0,393	0,400	0,409	0,417
	R/R ₀	0,768	0,780	0,795	0,809	0,824	0,836	0,848	0,860	0,874	0,886
	H/D	0,251	0,258	0,266	0,273	0,280	0,287	0,294	0,300	0,307	0,314

$$\frac{H}{D} = 0.086$$

Columna 39. Velocidad real en la sección de flujo (m/s): Con el fin de que no queden residuos en la tubería, se deben diseñar los colectores para que la **velocidad real no sea menor a 0.45 m/s** como lo

estipula el libro de *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003)* – Ricardo Alfredo López Cualla, en su capítulo 8.2.4 y 15.3 pero que también en la *Resolución 0330 de 2017* nos señala en su *Artículo 142*, que para que la tubería no sufra el fenómeno de abrasión a largo plazo, la **velocidad real no debe exceder los 5.0 m/s** a menos que se consideren condiciones especiales como se dictan en el mencionado Artículo. Se determina la velocidad real para el colector PZ9-PZ10.

$$V = \frac{V}{V_0} * \frac{Q_0}{A}$$

$$V = 2.86 * 0.40 = 1.15 \text{ m/s}$$

Columna 40. Altura de velocidad (m): Se refiere a la altura que teóricamente alcanza una partícula debido a su energía cinética.

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{(1.15)^2}{2(9.81)} = 0.065 \text{ m}$$

Columna 41. Radio hidráulico para la sección de flujo (m).

$$R = \frac{R}{R_0} * \frac{D}{4}$$

$$R = 0.37 * \frac{0.200}{4} = 0.019 \text{ m}$$

Columna 42: Esfuerzo cortante medio (N/m²): El esfuerzo cortante en la pared de la tubería con el que se debe diseñar un colector para garantizar la autolimpieza de la misma, debe ser mínimo de 1.0 N/m² como dice en el *Artículo 141* de la *Resolución 0330 de 2017*. Para el colector PZ9-PZ10 se tiene:

$$\tau = \gamma RS$$

$$\tau = (9810) * (0.019) * \left(\frac{4.45}{100}\right) = 8.10 \text{ N/m}^2$$

Columna 43. Altura de la lámina de agua (m).

$$d = \frac{d}{D} * D$$

$$d = 0.148 * 0.20 = 0.03 \text{ m}$$

Columna 44. Energía específica (m): hace referencia a la suma de las alturas de velocidad y lámina de agua.

$$E = d + \frac{V^2}{2g}$$

$$E = 0.03 + 0.067 = 0.097 \text{ m}$$

Columna 45. Profundidad hidráulica en la sección del flujo (m).

$$H = \frac{H}{D} * D$$

$$H = 0.086 * 0.200 = 0.02 \text{ m}$$

Columna 46. Número de Froude.

$NF \leq 0.9$: régimen de flujo subcrítico

$NF \geq 0.9$: régimen de flujo supercrítico

$$NF = \frac{V}{\sqrt{gH}}$$

$$NF = \frac{1.15}{\sqrt{9.81 * 0.02}} = 2.8$$

El colector PZ9-PZ10 pertenece al régimen de flujo supercrítico

Columna 47. Pérdida de energía por transición (m): Estas pérdidas se calculan de acuerdo a la ecuación 14.33 del libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla*.

$$\Delta H_t = k \left| \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right|$$

$K=0.1$ Para aumento de velocidad y $K=0.2$ para disminución de la velocidad.

En la unión colector PZ9-PZ10 con el PZ10-PZ11 se producen pérdidas de:

$$\Delta H_{9-10} = 0.1|0.269 - 0.067| = 0.02 \text{ m}$$

Columna 48. Relación del radio de curvatura al diámetro de la tubería de salida: Esta relación permite determinar la pérdida de energía en el pozo debido al cambio de dirección. El libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla*, en el título 15.3 especifica que para diámetros menores a 24" (600 mm) y cambios de dirección a 90°, el diámetro del pozo debe ser de 1.20 m y el radio de la curva es de 0.60 m. Se determina la relación r_c/D_s para el colector PZ7-PZ10 con el colector PZ10-PZ11:

$$\left(\frac{r_c}{D_{10-11}} \right)_{7-10} = \frac{0.6}{0.20} = 3.0$$

Columna 49. Pérdida de energía por cambio de dirección (m): Se calcula con la expresión:

$$h_{curva} = K \left[\frac{\left(\frac{V^2}{2g} \right)_i + \left(\frac{V^2}{2g} \right)_{i+1}}{2} \right]$$

Donde el valor “K” lo determina la relación r_c/D_s con los valores estipulados en la tabla 14.4 del libro *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, segunda edición (2003) – Ricardo Alfredo López Cualla*, recordando que no se recomienda trabajar con relaciones r_c/D_s menores que 1.0.

Tabla 10: Pérdida de energía por cambio de dirección

Régimen de flujo	r_c / D_s	ΔH_d
Subcrítico	1,0 - 1,5	0,40 $V^2/2g$
	1,5 - 3,0	0,20 $V^2/2g$
	> 3,0	0,05 $V^2/2g$
Supercrítico	6,0 - 8,0	0,40 $V^2/2g$
	8,0 - 10,0	0,20 $V^2/2g$
	> 10,0	0,05 $V^2/2g$

Fuente: *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados – Ricardo Alfredo López Cualla.*

Se determina la pérdida de energía en el pozo 10 debido al cambio de dirección de los colectores PZ7-PZ10 con PZ10-PZ11:

Relación r_c/D_s del colector PZ7-PZ10: 3.0

Valor de $K=0.20$

$$h_{7-10} = 0.2 \left[\frac{\left(\frac{V^2}{2g} \right)_{7-10} + \left(\frac{V^2}{2g} \right)_{10-11}}{2} \right]$$

$$h_{7-10} = 0.2 \left(\frac{0.016 + 0.269}{2} \right) = 0.028 \text{ m}$$

Cabe resaltar que no todas las uniones tienen pérdidas de energía por cambio de dirección.

Columna 50. Total de pérdidas en el pozo aguas abajo del tramo considerado (m): **Sumatoria de las pérdidas de energía por transición y por cambio de dirección.** El total de pérdidas de energía en el tramo 7-10 es:

$$h_{total} = \Delta H_t + h_{curva}$$

$$h_{total \ 7-10} = 0.025 + 0.028 = 0.054 \text{ m}$$

Columna 51. Cota rasante (CR) en el pozo inicial: Estos datos se obtienen a partir del plano topográfico suministrado por la constructora del proyecto, estas cotas son tomadas al eje del pozo. $CR_8 = 574.10$

Columna 52. Cota rasante (CR) en el pozo final: Estos datos se obtienen a partir del plano topográfico al eje del pozo. $CR_9 = 573.41$

Columna 53. Cota clave (CC) de la tubería al eje del pozo inicial:

- Para tramos iniciales:

Cota clave inicial = (cota rasante) – (profundidad de la tubería)

- Para los demás tramos:

Cota clave inicial = (cota de batea) + (diámetro interno)

Se determina la cota clave del pozo 8 (PZ8) del tramo inicial PZ8-PZ9:

$$CC_8 = CR_8 - 1.20$$

$$CC_8 = 574.10 - 1.20 = 572.90$$

Ahora para un tramo no inicial, se toma como ejemplo el tramo PZ9-PZ10 y se calcula la cota clave para el pozo 9 al inicio del tramo de la siguiente manera:

$$CC_9 = CB_9 + (\text{diámetro interno})$$

$$CC_9 = 571.96 + 0.20 = 572.16$$

Columna 54. Cota clave (CC) de la tubería al eje del pozo final: Se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Cota clave final} = (\text{cota clave inicial}) - (\text{longitud} * \text{pendiente})$$

Se calcula la cota clave de llegada para la tubería del tramo PZ8-PZ9, o sea para el pozo 9:

$$CC_9 = CC_8 - (L_{8-9} * S_{8-9})$$

$$CC_9 = 572.90 - \left(71.30 * \frac{0.97}{100} \right) = 572.21$$

Columna 55. Cota batea (CB) de la tubería en el eje del pozo inicial:

- Para tramos iniciales:

$$\text{Cota batea inicial} = (\text{cota clave}) - (\text{diámetro interno})$$

- Para los demás tramos:

$$\text{Cota batea inicial} = (\text{cota de energía aguas arriba}) - (\text{energía específica})$$

Se halla la cota batea del pozo 8 (PZ8) del tramo inicial PZ8-PZ9:

$$CB_8 = CC_8 - (\text{diámetro interno})$$

$$CB_8 = 572.90 - 0.20 = 572.70$$

Ahora para un tramo no inicial, se toma como ejemplo el tramo PZ9-PZ10 y se calcula la cota batea para el pozo 9 al inicio del tramo de la siguiente manera:

$$CB_9 = CE_8 - E_{9-10}$$

$$CB_9 = 572.06 - 0.097 = 571.96$$

Columna 56. Cota batea (CB) de la tubería en el eje del pozo final:

$$\text{Cota batea final} = (\text{cota batea inicial}) - (\text{longitud} * \text{pendiente})$$

Se calcula la cota batea de llegada para la tubería del tramo PZ8-PZ9, o sea para el pozo 9:

$$CB_9 = CB_8 - (L_{8-9} * S_{8-9})$$

$$CB_9 = 572.70 - \left(71.30 * \frac{0.97}{100} \right) = 572.01$$

Columna 57. Cota lámina de agua (CL) de la tubería en el eje del pozo inicial:

$$\text{Cota lámina de agua inicial} = (\text{cota batea}) + (\text{altura lámina de agua})$$

Se presenta el cálculo de la cota lámina de agua para el inicio del tramo PZ9-PZ10, o sea en la salida del pozo 9:

$$CL_9 = CB_9 + (d_{9-10})$$

$$CL_9 = 571.96 + 0.03 = 571.99$$

Columna 58. Cota lámina de agua (CL) de la tubería en el eje del pozo final:

$$\text{Cota lámina de agua final} = (\text{cota lámina inicial}) - (\text{longitud} * \text{pendiente})$$

Se halla la cota lámina de agua de llegada para la tubería del tramo PZ9-PZ10, o sea a la llegada del pozo 10:

$$CL_{10} = CL_9 - (L_{9-10} * S_{9-10})$$

$$CL_{10} = 571.99 - \left(71.30 * \frac{4.45}{100} \right) = 568.82$$

Columna 59. Cota de energía (CE) de la tubería en el eje del pozo inicial:

- Para tramos iniciales:

$$\text{Cota energía inicial} = (\text{cota batea}) + (\text{energía específica})$$

- Para los demás tramos:

$$\text{Cota energía inicial} = (\text{cota de energía aguas abajo tramo anterior}) - (\text{pérdidas de energía en el pozo})$$

Se calcula la cota de energía del pozo 8 (PZ8) del tramo inicial PZ8-PZ9:

$$CE_8 = CB_8 + E_{8-9}$$

$$CE_8 = 572.70 + 0.05 = 572.75$$

Ahora para un tramo no inicial, se toma como ejemplo el tramo PZ9-PZ10 y se calcula la cota de energía para el pozo 9 al inicio del tramo:

$$CE_9 = CE_{8-9} - h_{Total(8-9)}$$

$$CE_9 = 572.06 - 0.005 = 572.05$$

Se puede observar que el pozo 10 se concurre con dos tramos, el PZ9-10 y el PZ7-PZ10. Para calcular la cota de energía inicial de salida en el pozo 10 para ser entregados al pozo 11 se debe tener en cuenta la menor cota de energía de llegada en dicho pozo.

Columna 60. Cota de energía (CE) de la tubería en el eje del pozo final:

$$\text{Cota de energía final} = (\text{cota energía inicial}) - (\text{longitud} * \text{pendiente})$$

Se determina la cota de energía de llegada para la tubería del tramo PZ9-PZ10, o en otras palabras a la llegada del pozo 10:

$$CE_{10} = CE_9 - (L_{9-10} * S_{9-10})$$

$$CE_{10} = 572.05 - \left(71.30 * \frac{4.45}{100} \right) = 568.88$$

Columna 61 y 62. Profundidad a clave de la tubería (m): Esta distancia nos indica la profundidad a la que la tubería empata en el pozo en referencia a la clave. Esta se determina como (Cota rasante – Cota clave) en el pozo del tramo en consideración. Para el tramo PZ9-PZ10 las profundidades a clave son:

Profundidad de salida en pozo 9= $CR_9 - CC_9 = 573.41 - 572.16 = 1.25$ m

Profundidad de llegada en pozo 10= $CR_{10} - CC_{10} = 570.30 - 568.99 = 1.31$ m

En las columnas 63 y 64 se ajusta el valor de la profundidad a la cota clave de la tubería con el fin de cumplir los parámetros de diseño como la Velocidad mínima/máxima, pendiente, valor mínimo en la cortante, borde libre y las mencionadas en cada uno de los pasos descritos en las 62 columnas anteriores.

Columna 65. Pendiente real del colector (%). En esta columna ya se calcula la pendiente real de diseño de cada uno de los colectores, esta se calcula como se describe para el colector PZ9-PZ10:

$$S_{9-10} = \frac{|(CR_{i\ 9-10} - Profundidad\ Clave_{i\ 9-10}) - (CR_{f\ 9-10} - Profundidad\ Clave_{f\ 9-10})|}{L_{9-10}}$$

$$S_{9-10} = \frac{|(573.41 - 1.24) - (570.30 - 1.30)|}{71.30} * 100 = 4.45\%$$

Columna 66. Volumen de excavación por tramo (m3): En esta columna se calcula el volumen de excavación que resulta en cada uno de los tramos incluyendo los 10 cm que se deben excavar de más debido a la cama de arena donde descansa la tubería y 60 cm más de ancho al diámetro debido al personal que estará manipulando la tubería. El volumen de excavación para el tramo PZ9-PZ10 se calcula de la siguiente manera:

$$Exc_{9-10} = \frac{((CR_{i\ 9-10} - CC_{i\ 9-10}) + 0.10) + ((CR_{f\ 9-10} - CC_{f\ 9-10}) + 0.10)}{2} * L_{9-10} * (D + 0.60)$$

$$Exc_{9-10} = \frac{((573.41 - 571.96) + 0.10) + ((570.30 - 568.79) + 0.10)}{2} * 71.30 * (0.2 + 0.5)$$

$$Excavación_{9-10} = 89.95\ m^3$$

3.2.9 Presupuesto de obra

Es un plan de gastos que se realiza antes de la ejecución de un proyecto, donde se determinan ciertas actividades (también llamadas ítems); cada una de ellas implica un costo, los cuales serán sumados para determinar el valor total de los costos directos, de tal forma que se pueda disponer de información económica del costo del proyecto en su conjunto y también por fases. A través del presupuesto de obra se conoce la cantidad de los materiales y equipos necesarios a implementar en el proyecto; dando la posibilidad de controlar, distribuir y cuidar de manera más responsable el presupuesto. Si se realiza de forma adecuada y detallada, se podrá evitar gastos innecesarios y desperdiciar recursos.

Hay que mencionar que el presupuesto de obra es modificable, ya que durante la ejecución del proyecto puede haber imprevistos no contemplados, que den como resultado una adicional en términos económicos y/o de tiempo de ejecución. Es representado en una tabla de cantidades a las que se dan valores unitarios; dando un costo total del proyecto a construir. Partiendo de los planos definitivos con sus especificaciones, se obtienen las cantidades de obra con sus respectivas unidades de medida: unidad, metros lineales, metros cuadrados y metros cúbicos, necesarios para la ejecución de las actividades.

A continuación, se mostrará la tabla del presupuesto de obra para el proyecto denominado: "Diseño del sistema de alcantarillado para aguas residuales en la urbanización Acrópolis localizada en el municipio de Palermo, Huila."

Tabla 11: Presupuesto general oficial del proyecto

PRESUPUESTO DE OBRA					
OBJETO: "DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PARA AGUAS RESIDUALES EN LA URBANIZACIÓN ACRÓPOLIS LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE PALERMO HUILA"					
ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT.	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	PRELIMINARES				\$ 3.893.260,31
1,1	Localización y replanteo. Incluye: materiales, equipos y comisión topográfica.	ML	1.482,00	\$ 2.627,03	\$ 3.893.260,31
2	EXCAVACION				\$ 50.214.857,70
2,1	Excavación manual en material conglomerado	M3	717,70	\$ 30.241,00	\$ 21.703.965,70
2,2	Excavación Mecánica a todo factor excepto roca.	M3	1.978,00	\$ 14.414,00	\$ 28.510.892,00

3	RETIRO MATERIAL SOBRANTE DE EXCAVACION Y DISPOSICIÓN EN SITIO AUTORIZADO				\$ 168.378.274,26
3,1	Recolección y cargue de material sobrante en volqueta hasta el botadero. Distancia menor a 5 Km.	M3	1.617,42	\$ 104.103,00	\$ 168.378.274,26
4	CAJILLAS				\$ 110.893.701,00
4,1	Suministro e instalación de cajilla domiciliaria para alcantarillado a todo costo en concreto simple de 3000 PSI de dimensión de 1.00 m x 1.00 m. libres, espesor de 0.10 m. Tapa en concreto reforzado, base de 0.90x0.90x0.15 m. Superficie y cañuela esmaltadas en concreto puro y muros con pañete impermeabilizado. Incluye: producción, Formaleta, vaciado, desencofrado y todo lo necesario para la correcta ejecución de la obra.	Unid.	257,00	\$ 431.493,00	\$ 110.893.701,00
5	RELLENO DE BRECHA				\$ 136.362.133,66
5,1	Relleno de brecha con material seleccionado de la excavación con compactación mecánica tipo canguro, capa máxima de 10 cm.	M3	1.078,28	\$ 29.657,00	\$ 31.978.549,96
5,2	Relleno de brecha con material de recebo, compactación mecánica tipo canguro/rana, capa máxima de 10 cm.	M3	1.588,62	\$ 61.374,00	\$ 97.499.963,88
5,3	Suministro e instalación de arena fina para encamado de tubería (capa de 10 cm)	M3	87,78	\$ 78.419,00	\$ 6.883.619,82
6	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PVC SELLO HERMETICO, DE PARED ESTRUCTURAL				\$ 211.839.790,00

6.1	Suministro e instalación de Tubería PVC Sanitaria diámetro 160 mm (6"), de pared estructurada y sello hermético.	ML	1.050,00	\$ 64.369,00	\$ 67.587.450,00
6,2	Suministro e instalación de Tubería PVC sanitaria diámetro 200 mm (8"), de pared estructurada y sello hermético.	ML	1.458,00	\$ 69.619,00	\$ 101.504.502,00
6,3	Suministro e instalación de Silla Yee 250 mm x 160 mm. Incluye accesorios adecuados para su correcta conexión y sello hermético	UND	257,00	\$ 166.334,00	\$ 42.747.838,00
7	POZOS DE INSPECCION PARA ALCANTARILLADO				\$ 70.018.922,00
7,1	Construcción de pozo de inspección de 1,0 a 2,0mts, en Concreto de 3.000 P.S.I. y espesor de 0,20m. Incluye: Formaleta, cañuelas pulidas en concreto, escalones en gato en varilla de acero de 5/8", aro base y tapa tráfico pesado, mano de obra, curado, desencofrado, equipos y herramientas y todo lo relacionado para la correcta ejecución de la obra.	UND	24,00	\$ 2.746.908,00	\$ 65.925.792,00
7,2	Construcción de pozo de inspección de 2,0 a 3,0mts, en Concreto de 3.000 P.S.I. y espesor de 0,20m. Incluye: Formaleta, cañuelas pulidas en concreto, escalones en gato en varilla de acero de 5/8", aro base y tapa tráfico pesado, mano de obra, curado, desencofrado, equipos y herramientas y todo lo relacionado para la correcta ejecución de la obra.	UND	1,00	\$ 3.578.980,00	\$ 3.578.980,00
7,3	Limpieza y adecuación de pozos de alcantarillado. Incluye	UND	25,00	\$ 20.566,00	\$ 514.150,00

retiro de desecho y reconstrucción de tapa y cañuelas			
TOTAL COSTOS DIRECTOS			751.600.938,93
ADMINISTRACIÓN		19%	142.804.178,00
IMPREVISTOS		1%	7.516.009,00
UTILIDAD		4%	30.064.038,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS			180.384.225,00
COSTO TOTAL DE LA OBRA			931.985.163,93

El presente presupuesto de obra contiene 14 actividades, las cuales son divididas en 7 capítulos, teniendo en cuenta el objetivo de cada una de ellas. Se puede observar el valor de los costos directos, los cuales, son la relación con la ejecución de las actividades directamente relacionadas a la ejecución de los trabajos. En otras palabras, son los que impactan directamente en el desarrollo de la obra. Entre ellos se encuentran:

Los materiales, de los cuales hay una base de valores unitarios actualizados en la ciudad de Neiva, para con ello poder relacionar los precios en la elaboración de los APU de las actividades.

Tabla 12: Listado de precios unitarios de los materiales requeridos en la ejecución del proyecto

MATERIALES BASICOS			
OBJETO: "DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PARA AGUAS RESIDUALES EN LA URBANIZACIÓN ACRÓPOLIS LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE PALERMO HUILA"			
ITEM	DESCRIPCION	UND	VR/UNIT
1	aceros - alambres - hierros		
1.1	acero fy= 4200 kg/cm2	kg	\$ 2,550
1.2	accesorio pvc ø 6"	und	\$ 16,000
1.3	alambre galvanizado # 18	kg	\$ 5,250
1.4	puntilla 1 1/2" a 2"	lb	\$ 5,850
1.5	varilla 1/2"	ml	\$ 2,907
1.6	varilla 3/8"	ml	\$ 1,666
1.7	varilla 5/8"	ml	\$ 4,438
1.8	varilla 1"	ml	\$ 4,438

2	agregados - arenas - recebos - agua		
2.1	agua	litro	\$ 39.80
2.2	arena gruesa transportada a obra	m3	\$ 55,000
2.3	arena fina transportada a obra	m3	\$ 55,000
2.4	cemento gris	kg	\$ 600
2.5	gravilla 3/4"	m3	\$ 60,000
2.6	gravilla 1/2"	m3	\$ 65,000
2.7	recebo seleccionado	m3	\$ 7,500
3	tuberías		
3.1	tubería pvc pared estructurada 160 mm ø6" (l=6 m)	ml	\$ 36,405
3.2	tubería pvc pared estructurada 200 mm ø8" (l=6 m)	ml	\$ 58,756
4	accesorios - aditivos pegantes		
4.1	codo pvc ø 6" x 45 sanitario cxe	und	\$ 10,862
4.2	kit silla yee 200 mm x 160 mm	und	\$ 89,197
4.3	limpiador/removedor pvc. (1/4 gal)	und	\$ 31,852
4.4	lubricante para tubería pvc (500 gr)	und	\$ 20,450
4.5	paso para pozo en acero 5/8", incl. anticorrosivo	und	\$ 55,000
4.6	soldadura liquida c pvc. (1/4 gal)	und	\$ 70,588
4.7	tapa, aro y base hf tráfico pesado para pozo	und	\$ 200,000
5	otros		
5.1	piola gruesa rollo 50 ml	und	\$ 3,350
5.2	cuartón de otobo 2"*4"*2.90m	und	\$ 6,150
5.3	guadua l=5m	und	\$ 8,500
5.4	tabla formaleta pino 25x3	ml	\$ 15,000

La mano de obra, el cual es el personal que se relaciona directamente en la construcción. Para realizar el cálculo del costo de éste, se deberá basar en el actual salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV), que es \$1'160.000. Ya teniendo los costos del personal requerido en la ejecución de la obra, se conforman cuadrillas para implementarlas en los APU's, las cuales son las siguientes:

Tabla 13: Cuadrillas de mano de obra

CUADRILLAS				
CODIGO	DESCRIPCIÓN	UND.	VR. UNIT (\$)	JORNAL
OB	ayudante	H-H	\$ 8,946	\$ 71,570
O	oficial	H-H	\$ 11,562	\$ 92,497
C1	cuadrilla (1 obrero+1 oficial).	H-C	\$ 20,508	\$ 164,067
C2	cuadrilla (2 obreros+1 oficial).	H-C	\$ 29,455	\$ 235,636
C3	cuadrilla (3 obreros+1 oficial).	H-C	\$ 38,401	\$ 307,206
CT	comisión de topografía (topógrafo, cadenero 1, cadenero 2 y obrero).	DIA-C	\$ 850,000	

Herramientas y equipos, son instrumentos utilizados para aumentar la velocidad, la precisión y la eficacia del personal de la mano de obra en la construcción. Se agrupan funcionalmente según el tipo de oficio en el que se utilizan (de la misma forma que los materiales básicos ya mencionados), del mismo modo, se relacionan en la elaboración de los APU:

Tabla 14: Listado de precios unitarios de los equipos requeridos en la ejecución del proyecto

EQUIPOS BASICOS			
OBJETO: "DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PARA AGUAS RESIDUALES EN LA URBANIZACIÓN ACRÓPOLIS LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE PALERMO HUILA"			
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	VR/UNIT
1	equipos		
1.1	estación total de topografía	día	\$ 450,000
1.2	mezcladora de concreto 6 p3.	día	\$ 60,000
1.3	rana vibrocompactadora o compactador manual (80-100)kg.	día	\$ 55,000
1.4	vibrador de concreto eléctrico o a gasolina.	día	\$ 60,000
1.5	retroexcavadora-pajarita s/llanta (70-90)hp.	hr	\$ 85,000
2	transporte		
2.1	transporte de material de excavación	m3-Km	
2.2	transporte de material pétreo	m3-Km	\$ 1,250
2.3	transporte de tubería	m-t	\$ 900
2.4	transporte de material de demolición	m3-Km	\$ 1,230
2.5	servicio de transporte (hasta 5 km)	M3-KM	\$ 5,000
3	distancia acarreo		
3.1	materiales pétreos	Km	\$ 165
3.2	botadero	Km	\$ 5

Por otra parte, se encuentran los *costos indirectos*, que también son requeridos para la ejecución del proyecto y no se pueden atribuir directamente, pero que representan los costos de sostener a la organización y por extensión al proyecto. En la siguiente tabla, se muestra el desglose del AIU con respecto al presupuesto general del proyecto:

Tabla 15: Desglose del AIU

DESENGLOSE DEL A.I.U.					
OBJETO: "DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PARA AGUAS RESIDUALES EN LA URBANIZACIÓN ACRÓPOLIS LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE PALERMO HUILA"					
ITEM	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	MESES	% DEDICACIÓN	VALOR TOTAL
1	ADMINISTRACIÓN				
	PERSONAL				
1.1	INGENIERO CIVIL DIRECTOR DE OBRA	\$ 4.500.000,00	3,50	50%	\$ 7.875.000,00
1.2	INGENIERO CIVIL RESIDENTE DE OBRA	\$ 3.500.000,00	3,50	100%	\$ 12.250.000,00
1.3	ESPECIALISTA EN HIDRAULICA E HIDROLOGIA	\$ 5.000.000,00	2,00	50%	\$ 5.000.000,00
1.4	INGENIERO INDUSTRIAL (SISOMA)	\$ 3.300.000,00	3,50	100%	\$ 11.550.000,00
1.5	TECNOLOGO EN OBRAS CIVILES	\$ 2.500.000,00	3,50	100%	\$ 8.750.000,00
1.6	SECRETARIA	\$ 1.500.000,00	3,50	60%	\$ 3.150.000,00
1.7	ALMACENISTA	\$ 1.800.000,00	3,50	100%	\$ 6.300.000,00
1.8	CONTADOR	\$ 2.200.000,00	3,50	40%	\$ 3.080.000,00
1.9	TOPOGRAFO	\$ 3.800.000,00	3,50	20%	\$ 2.660.000,00
					\$ 60.615.000,00
	FACTOR PRESTACIONAL	PORCENTAJE	VALOR		
1.10	CESANTIAS	8,33%	\$ 5.049.229,50		
1.11	INTERESES DE CESANTIAS	1,00%	\$ 50.492,30		
1.12	PRIMA LEGAL	8,33%	\$ 5.049.229,50		
1.13	VACACIONES	4,16%	\$ 2.521.584,00		
1.14	SEGURIDAD SOCIAL	35,46%	\$ 21.494.079,00		
	ADMINISTRACIÓN Y OTROS GASTOS				
1.15	EQUIPO COMPLETO DE TOPOGRAFIA (INCLUYE TRANSITO, NIVEL, ESTACION Y	Mes	3,50	\$ 3.000.000,00	\$ 10.500.000,00

	ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS)				
1.16	OFICINA, PAPELERÍA E INSUMOS DE OFICINA	Mes	2,50	\$ 950.000,00	\$ 2.375.000,00
1.17	LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS (LIMITES, DENSIDADES:PROTOR, GRANULOMETRIA, RESISTENCIA CONCRETO-FLEXION..ETC,)	Mes	2,00	\$ 4.200.000,0	\$ 8.400.000,00
1.18	ALQUILER DE VEHICULO - CAMIONETA >2000 CC. PICK-UP Ó SIMILAR (INCLUYE CONDUCTOR Y COMBUSTIBLE)	Mes	3,50	\$ 5.000.000,00	\$ 17.500.000,00
	GASTOS DE LEGALIZACIÓN				
1.19	GASTOS DE LEGALIZACIÓN	0,99%	\$ 9.249.564,00		
1	ADMINISTRACIÓN(%)				
1,1	ADMINISTRACIÓN	19%			\$ 142.804.178,00
2	IMPREVISTOS (%)				
2.1	IMPREVISTOS	1%			\$ 7.516.009,00
3	UTILIDAD (%)				
3.1	UTILIDAD DEL PROYECTO	4%			\$ 30.064.038,00
VALOR TOTAL COSTOS INDIRECTOS					\$180.384.225,00

Análisis de precios unitarios (APU); El APU es una herramienta muy útil para la elaboración de presupuestos de obra, ya que permite tener un mayor control y precisión sobre los costos y asegurarse de que no se omita ningún elemento o tarea en el presupuesto. Además, al contar con un desglose detallado de los costos, se puede hacer una mejor estimación del tiempo y recursos necesarios para completar la obra y tomar decisiones más informadas durante la ejecución del proyecto.

Por su parte, los sub-APUs son una división adicional de los elementos que componen un APU en subcomponentes más específicos y detallados, lo que permite un mayor control sobre los costos de la

obra y una mejor gestión del presupuesto. En el presente proyecto sólo fue necesario la elaboración de un sub-APU, el cual hace referencia a “Concreto de 3.000 P.S.I (F’C: 210 kgF/Cm2)”:

Tabla 16: sub-APU (Concreto de 3.000 P.S.I (F’C: 210 kgF/Cm2)

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO BÁSICO					
OBJETO: "DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PARA AGUAS RESIDUALES EN LA URBANIZACIÓN ACRÓPOLIS LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE PALERMO HUILA"					
Descripción del ítem:	UNIDAD:	M3	ITEM	Sub-Apu	
	Concreto de 3.000 P.S.I (F´C: 210 kgF/Cm2)				
I. EQUIPO					
Descripción	Tarifa	Rendimiento	Valor-Unit.		
herramienta menor.	\$ 4,388.65	1.00	\$ 4,388.65		
Mezcladora	\$ 60,000.00	3.50	\$ 17,142.86		
SUB-TOTAL				\$ 21,531.51	
II. MATERIALES					
Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
Gravilla 3/4" transportada a obra.	m3	\$ 120,000.00	0.84	\$ 100,800.00	
Arena gruesa transportada a obra	M3	\$ 65,000.00	0.56	\$ 36,400.00	
Cemento gris	kg	\$ 640.00	350.00	\$ 224,000.00	
Agua	lt	\$ 42.00	180.00	\$ 7,560.00	
Desperdicio	3%			\$ 11,062.80	
SUB-TOTAL				\$ 379,822.80	
III. TRANSPORTES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Valor-Unit.
SUB-TOTAL					
IV. MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal/H-H	Cantidad	Rend.	Valor-Unit.	
CUADRILLA (3 obreros+1 oficial).	\$ 307,206.04	1.00	3.50	\$ 87,773.00	
SUB-TOTAL					\$ 87,773.00

TOTAL UNITARIO	\$ 489,127.00

Ya teniendo desglosado el costo total unitario del concreto requerido, se procede a aplicarse en los APUs donde sea necesario, como por ejemplo el ítem 4.1 del presupuesto:

Tabla 17: APU del ítem 4.1 del presupuesto general

ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO "APU"					
OBJETO: "DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PARA AGUAS RESIDUALES EN LA URBANIZACIÓN ACRÓPOLIS LOCALIZADA EN EL MUNICIPIO DE PALERMO HUILA"					
Descripción de ítem:	UNIDAD:	Unid.	ITEM	4.1	
	Suministro e instalación de cajilla domiciliaria para alcantarillado a todo costo en concreto simple de 3000 PSI de dimensión de 1.00 m x 1.00 m. libres, espesor de 0.10 m. Tapa en concreto reforzado, base de 0.90x0.90x0.15 m. Superficie y cañuela esmaltadas en concreto puro y muros con pañete impermeabilizado. Incluye: producción, Formaleta, vaciado, desencofrado y todo lo necesario para la correcta ejecución de la obra.				
I. EQUIPO					
Descripción	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.		
HERRAMIENTA MENOR	\$ 1,281.77	1.00	\$ 1,281.77		
			SUB-TOTAL	\$ 1,281.77	
II. MATERIALES					
Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
Concreto de 3.000 P.S.I (F´C: 210 kgF/Cm2)	M3	\$ 489,127.00	0.59	\$ 290,125.68	
ACERO Fy= 4200 Kg/cm2	KG	\$ 5,450.00	21.00	\$ 114,450.00	
			SUB-TOTAL	\$ 404,575.68	
III. TRANSPORTES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Distancia	Valor-Unit.
			SUB-TOTAL	\$ 0.00	
IV. MANO DE OBRA					
Trabajador	Jornal/H-H	Cantidad	Rendimiento	Valor-Unit.	
CUADRILLA (1 obrero+1 oficial).	\$ 20,508.34	1.00	0.80	\$ 25,635.42	
			SUB-TOTAL	\$ 25,635.42	
TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 431,493.00	

Siguiendo esta secuencia se podrá lograr una óptima elaboración de un presupuesto general total y final para el proyecto, el cual se podrá observar detalladamente en los anexos del presente.

Capítulo 4

4. Análisis de resultados

4.1 Resultados para el caudal de diseño

Una vez realizado el análisis de los cálculos respectivos a cada uno de los colectores necesarios para la elaboración del diseño de la red de alcantarillado, se generan diferentes resultados que se ven reflejados en la tabla 3.8, donde se puede observar el caudal de diseño para cada uno de los tramos.

El proyecto se divide en dos etapas, de las cuales en la etapa 1 los pozos son nombrados de forma alfanumérica (PZ9-PZ10), mientras que para la etapa 2, la nomenclatura es alfabética (PZL-PZM). Para efectos de este proyecto, se realiza el estudio y diseños en ambas etapas, pero cabe resaltar que inicialmente se construirá sólo la primera etapa, por lo cual, se ha realizado el respectivo presupuesto perteneciente a esta primera fase. La cantidad de pozos requeridos para cumplir y satisfacer las necesidades básicas de las familias que habitarán en este proyecto, será de 25 pozos en la etapa 1 y de 14 pozos en la etapa 2.

Si el aporte del caudal calculado en un colector es inferior a 1.5L/s, el caudal que se deberá adoptar es justamente de éste valor. Por ejemplo, el menor caudal calculado se encontró en el colector PZ1-PZ4, donde se obtuvo un valor de 0.35L/s, el cual se ajustó y se dejó con un caudal de 1.5L/s.

Por otro lado, en el colector PZ11-RCL se obtuvo el mayor caudal de diseño con un valor de 14.11 L/s lo cual es coherente ya que este tramo conduce el 57% de las aguas servidas de la población total a la que servirá el sistema, hablando que abarca 1.7 Ha de las 3.0 Ha existentes. Para comparar un poco más, se observa que el tramo que descarga el otro 43% de las aguas servidas al pozo recolector, o sea las otras 1.3 Ha, es el colector PZ17-RCL con un caudal de diseño de 7.8 L/s.

Tabla 18: Cálculo del caudal de diseño

Pozo	Área trib. (ha)		Doméstico				Industrial		Comercial		Institucional		% Total Área	Q max. Horario				Infiltración		Conexiones erradas		Q diseño (L/s)	
Tramo	Parcial	Total	% Área	Densidad (hab./ha)	Población (habitantes)	Q _D L/s*ha	% Área	Q _{IND} L/s*ha	% Área	Q _C L/s*ha	% Área	Q _{INST} L/s*ha		Q _{PONDER.} L/s*ha	Q _{MD} L/s	F	Q _{MAX.HORAR.} L/s	Coef. Infil. L/s*ha	Q _{INFILTR.} L/s	Coef. C.E L/s*ha	Q _{C.E.} L/s	Q _{CALCULADO} L/s	Q _{ADOPTADO} L/s
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PZ18-PZ19	0,0885	0,0885	100	688	61	0,948							100	0,948	0,084	4,3	0,36	0,4	0,04	2	0,18	0,57	1,50
PZ19-PZ20	0,0105	0,099	60	688	69	0,948			40	0,5			100	0,769	0,092	4,3	0,39	0,4	0,04	2	0,20	0,63	1,50
PZ20-PZ21	0,0216	0,121	0	688	84	0,948			100	0,5			100	0,500	0,103	4,3	0,44	0,4	0,05	2	0,24	0,73	1,50
PZ21-PZ22	0,2281	0,349	100	688	241	0,948							100	0,948	0,319	4,1	1,31	0,4	0,14	2	0,70	2,15	2,15
PZ22-PZ23	0,2308	0,580	100	688	400	0,948							100	0,948	0,538	4,0	2,16	0,4	0,23	2	1,16	3,55	3,55
PZ20-PZ24	0,1598	0,160	100	688	110	0,948							100	0,948	0,151	4,2	0,64	0,4	0,06	2	0,32	1,02	1,50
PZ24-PZ25	0	0,160	100	688	110	0,948							100	0,948	0,151	4,2	0,64	0,4	0,06	2	0,32	1,02	1,50
PZ25-PZ23	0,0147	0,175	100	688	121	0,948							100	0,948	0,165	4,2	0,70	0,4	0,07	2	0,35	1,12	1,50
PZ23-PZ17	0	0,754	100	688	521	0,948							100	0,948	0,703	4,0	2,79	0,4	0,30	2	1,51	4,60	4,60
PZ15-PZ16	0,2177	0,2177	100	688	150	0,948							100	0,948	0,206	4,2	0,86	0,4	0,09	2	0,44	1,39	1,50
PZ16-PZ17	0,2102	0,428	100	688	295	0,948							100	0,948	0,405	4,1	1,65	0,4	0,17	2	0,86	2,68	2,68
PZ17-RCL	0,1184	1,300	100	688	898	0,948							100	0,948	1,221	3,8	4,67	0,4	0,52	2	2,60	7,80	7,80
PZ2-PZ3	0,1713	0,171	100	688	118	0,948							100	0,948	0,162	4,2	0,69	0,4	0,07	2	0,34	1,10	1,50
PZ3-PZ4	0,1534	0,325	100	688	224	0,948							100	0,948	0,308	4,1	1,27	0,4	0,13	2	0,65	2,05	2,05
PZ5-PZ6	0,1749	0,175	100	688	121	0,948							100	0,948	0,166	4,2	0,70	0,4	0,07	2	0,35	1,12	1,50
PZ6-PZ7	0,169	0,344	100	688	238	0,948							100	0,948	0,326	4,1	1,34	0,4	0,14	2	0,69	2,17	2,17
PZ8-PZ9	0,1955	0,196	100	688	135	0,948							100	0,948	0,185	4,2	0,78	0,4	0,08	2	0,39	1,25	1,50
PZ9-PZ10	0,19	0,386	100	688	266	0,948							100	0,948	0,365	4,1	1,50	0,4	0,15	2	0,77	2,42	2,42
PZC-PZB	0,1774	0,1774	100	688	123	0,948							100	0,948	0,168	4,2	0,71	0,4	0,07	2	0,35	1,13	1,50
PZD-PZB	0,0885	0,089	100	688	61	0,948							100	0,948	0,084	4,3	0,36	0,4	0,04	2	0,18	0,57	1,50
PZF-PZE	0,1102	0,110	100	688	76	0,948							100	0,948	0,104	4,3	0,45	0,4	0,04	2	0,22	0,71	1,50
PZG-PZE	0,081	0,081	100	688	56	0,948							100	0,948	0,077	4,3	0,33	0,4	0,03	2	0,16	0,52	1,50
PZL-PZH	0,1222	0,122	100	688	85	0,948							100	0,948	0,116	4,3	0,49	0,4	0,05	2	0,24	0,79	1,50
PZK-PZJ	0,238	0,238	100	688	164	0,948							100	0,948	0,226	4,2	0,94	0,4	0,10	2	0,48	1,51	1,51
PZL-PZM	0,1193	0,119	100	688	247	0,948							100	0,948	0,113	4,1	0,46	0,4	0,05	2	0,24	0,75	1,50
PZM-PZ1	0,1651	0,284	100	688	361	0,948							100	0,948	0,269	4,0	1,09	0,4	0,11	2	0,57	1,77	1,77
PZINICI-PZA	0,0583	0,058	100	688	41	0,948							100	0,948	0,055	4,3	0,24	0,4	0,02	2	0,12	0,38	1,50
PZA-PZB	0	0,324	100	688	225	0,948							100	0,948	0,307	4,1	1,27	0,4	0,13	2	0,65	2,05	2,05
PZB-PZE	0	0,515	100	688	357	0,948							100	0,948	0,488	4,0	1,98	0,4	0,21	2	1,03	3,21	3,21
PZE-PZH	0	0,638	100	688	442	0,948							100	0,948	0,604	4,0	2,42	0,4	0,26	2	1,28	3,95	3,95
PZH-PZ1	0	0,876	100	688	606	0,948							100	0,948	0,830	3,9	3,26	0,4	0,35	2	1,75	5,36	5,36
PZ1-PZ1	0	1,160	100	688	967	0,948							100	0,948	1,099	3,8	4,19	0,4	0,46	2	2,32	6,97	6,97
PZ1-PZ4	0,0532	0,053	100	688	37	0,948							100	0,948	0,050	4,3	0,22	0,4	0,02	2	0,11	0,35	1,50
PZ4-PZ7	0,0456	0,424	100	688	293	0,948							100	0,948	0,401	4,1	1,64	0,4	0,17	2	0,85	2,65	2,65
PZ7-PZ10	0	0,767	100	688	531	0,948							100	0,948	0,727	4,0	2,88	0,4	0,31	2	1,53	4,72	4,72
PZ10-PZ11	0,2441	1,397	100	688	965	0,948							100	0,948	2,416	3,8	9,21	0,4	0,56	2	2,79	12,56	12,56
PZ7-PZ12	0,2058	0,206	89	688	142	0,948			11	0,5			100	0,898	0,185	4,2	0,78	0,4	0,08	2	0,41	1,27	1,50
PZ12-PZ13	0,0137	0,220	100	688	152	0,948							100	0,948	0,198	4,2	0,83	0,4	0,09	2	0,44	1,36	1,50
PZ13-PZ14	0	0,220	100	688	152	0,948							100	0,948	0,198	4,2	0,83	0,4	0,09	2	0,44	1,36	1,50
PZ14-PZ11	0,0235	0,243	100	688	169	0,948							100	0,948	0,220	4,2	0,92	0,4	0,10	2	0,49	1,50	1,50
PZ11-RCL	0,0461	1,686	100	688	1166	0,948							100	0,948	2,680	3,8	10,07	0,4	0,67	2	3,37	14,11	14,11

Fuente: Elaboración propia tomado de acuerdo a la metodología propuesta por López Culla

4.2 Resultados de las pendientes

Luego de conocer los caudales de diseño en cada uno de los colectores establecidos, se determinaron los diámetros reales para cada uno de ellos, y se analizó las condiciones hidráulicas para que cumplieran sus parámetros descritos en las normatividades citadas en el presente.

Una de las condiciones hidráulicas que se debe tener en cuenta en conexiones abiertas, es que la cortante que genera el paso del flujo dentro del colector sea mínimo 1.5 N/m^2 . Si se observa el tramo del PZ2-PZ3, se obtuvo un valor de 1.2 N/m^2 , por lo cual, se debe aumentar su pendiente. No obstante, se consideró este valor debido a que cumple otro de los principios fundamentales que es la velocidad real, la cual generó un resultado de 0.46 m/s , y debe ser mínimo de 0.45 m/s para evitar la sedimentación de residuos y partículas.

El diámetro real obtenido por fórmula en cada uno de los colectores fue inferior a 8" (200mm), sin embargo, el diámetro mínimo real para un sistema de alcantarillado es precisamente de 8", por consiguiente, toda la tubería central del proyecto llevará éste diámetro, y sólo la tubería empleada en las domiciliarias será de 6" (160mm). Debido a que el proyecto no tendrá más expansión de viviendas, no recibirá descargas futuras alternas a las ya calculadas, por lo tanto, ésta es una de las razones por la cual no se obtuvo un mayor diámetro en la tubería.

Existen tres tramos donde se obtuvieron pendientes elevadas debido a la topografía del terreno, los cuales son: PZ7-PZ12, PZ10-PZ11, y PZ17-RCL. Por ejemplo, en el colector PZ17-RCL, que tiene una longitud de 85.0m y es el encargado de descargar una parte de las aguas servidas al pozo recolector, la pendiente obtenida fue de 10.02%, lo cual es considerablemente alta. Sin embargo, revisando el principio de la velocidad máxima, el cual menciona que el valor máximo permitido en un colector es de 5 m/s . El presente tramo cumple con este parámetro debido a que se obtuvo una velocidad de 2.03 m/s . En este orden de ideas, se recomienda dejar los colectores mencionados con las pendientes obtenidas, ya que están cumpliendo con los parámetros hidráulicos.

Generalmente la profundidad de los pozos está entre 1.0 y 2.0m, a excepción del pozo 17 (PZ17), que su altura se ve afectada directamente por la topografía del terreno mencionada ya anteriormente.

En la **tabla 3.9** también se encuentran las longitudes de los colectores de todos los tramos, con ello se obtienen las cantidades para las actividades del presupuesto relacionadas a tubería.

Para el cálculo de las cantidades de excavación y relleno, se tuvo en cuenta las profundidades de la cota batea; tanto de llegada como de salida en cada uno de los colectores.

Tabla 19: Cálculo de las pendientes (parte 1)

Tramo	Longitud	Q diseño	S %	Diámetro Teórico		Diámetro Comercial		CHEQUEO	Qo (tubo lleno)	Vo (velocid. Tub. lleno)	Q/Qo	V/Vo	d/D	R/Ro	H/D	V (Vel real)	V ² /2g	R (Radio Hid)	τ	d (lam H2O)	E (e- especif.)	H (prof. Hid)	NF
De - A	m	L/s	Diseño	m	Pig	nominal (")	interno (m)		L/s	m/s							m	m	N/m ²	m	m	m	
1	25	26	27	28	29	30		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
PZ18-PZ19	37,5	1,50	0,72	0,061	2,4	8	0,200	CUMPLE	36,2	1,15	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	0,49	0,012	0,021	1,4	0,033	0,045	0,02	1,1
PZ19-PZ20	9,3	1,50	1,29	0,054	2,1	8	0,200	CUMPLE	48,5	1,54	0,03	0,4	0,148	0,37	0,086	0,62	0,019	0,019	2,3	0,030	0,049	0,02	1,5
PZ20-PZ21	34,6	1,50	0,81	0,059	2,3	8	0,200	CUMPLE	38,4	1,22	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	0,52	0,014	0,021	1,6	0,033	0,047	0,02	1,2
PZ21-PZ22	81,2	2,15	0,60	0,072	2,8	8	0,200	CUMPLE	33,2	1,06	0,06	0,473	0,196	0,481	0,128	0,50	0,013	0,024	1,4	0,039	0,052	0,03	1,0
PZ22-PZ23	81,2	3,55	3,57	0,062	2,4	8	0,200	CUMPLE	80,7	2,57	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	1,10	0,061	0,021	7,2	0,033	0,094	0,02	2,5
PZ20-PZ24	79,2	1,50	0,64	0,062	2,4	8	0,200	CUMPLE	34,2	1,09	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	0,47	0,011	0,021	1,3	0,033	0,044	0,02	1,0
PZ24-PZ25	83,5	1,50	4,59	0,043	1,7	8	0,200	CUMPLE	91,4	2,91	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	1,05	0,057	0,016	7,1	0,025	0,081	0,01	2,9
PZ25-PZ23	30,0	1,50	0,83	0,059	2,3	8	0,200	CUMPLE	39,0	1,24	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	0,53	0,014	0,021	1,7	0,033	0,047	0,02	1,2
PZ23-PZ17	34,7	4,60	0,23	0,114	4,5	8	0,200	CUMPLE	20,5	0,65	0,22	0,672	0,362	0,795	0,266	0,44	0,010	0,040	0,9	0,072	0,082	0,05	0,6
PZ15-PZ16	75,5	1,50	1,17	0,055	2,2	8	0,200	CUMPLE	46,1	1,47	0,03	0,4	0,148	0,37	0,086	0,59	0,018	0,019	2,1	0,030	0,047	0,02	1,4
PZ16-PZ17	75,5	2,68	5,66	0,051	2,0	8	0,200	CUMPLE	101,5	3,23	0,03	0,4	0,148	0,37	0,086	1,29	0,085	0,019	10,3	0,030	0,115	0,02	3,1
PZ17-RCL	85,0	7,80	10,02	0,069	2,7	8	0,200	CUMPLE	135,1	4,30	0,06	0,473	0,196	0,481	0,128	2,03	0,211	0,024	23,6	0,039	0,250	0,03	4,1
PZ2-PZ3	53,8	1,50	0,56	0,064	2,5	8	0,200	CUMPLE	31,9	1,01	0,05	0,453	0,182	0,449	0,116	0,46	0,011	0,022	1,2	0,036	0,047	0,02	1,0
PZ3-PZ4	53,8	2,05	5,13	0,047	1,9	8	0,200	CUMPLE	96,7	3,08	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	1,11	0,063	0,016	7,9	0,025	0,088	0,01	3,1
PZ5-PZ6	60,8	1,50	1,17	0,055	2,2	8	0,200	CUMPLE	46,1	1,47	0,03	0,4	0,148	0,37	0,086	0,59	0,018	0,019	2,1	0,03	0,047	0,02	1,4
PZ6-PZ7	60,8	2,17	5,44	0,048	1,9	8	0,200	CUMPLE	99,6	3,17	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	1,15	0,067	0,016	8,4	0,02	0,092	0,01	3,2
PZ8-PZ9	71,3	1,50	0,97	0,057	2,3	8	0,200	CUMPLE	42,0	1,34	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	0,57	0,017	0,021	1,9	0,03	0,050	0,02	1,3
PZ9-PZ10	71,3	2,42	4,45	0,052	2,0	8	0,200	CUMPLE	90,0	2,86	0,03	0,4	0,148	0,37	0,086	1,15	0,067	0,019	8,1	0,03	0,097	0,02	2,8
PZC-PZB	53,8	1,50	3,22	0,046	1,8	8	0,200	CUMPLE	76,5	2,44	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	0,88	0,040	0,016	5,0	0,025	0,064	0,01	2,4
PZD-PZB	27,2	1,50	0,74	0,060	2,4	8	0,200	CUMPLE	36,6	1,16	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	0,50	0,013	0,021	1,5	0,033	0,046	0,02	1,1
PZF-PZE	54,9	1,50	3,64	0,045	1,8	8	0,200	CUMPLE	81,5	2,59	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	0,94	0,045	0,016	5,6	0,025	0,070	0,01	2,6
PZG-PZE	27,1	1,50	0,74	0,060	2,4	8	0,200	CUMPLE	36,7	1,17	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	0,50	0,013	0,021	1,5	0,033	0,046	0,02	1,1
PZI-PZH	60,7	1,50	4,04	0,044	1,7	8	0,200	CUMPLE	85,7	2,73	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	0,99	0,050	0,016	6,2	0,025	0,075	0,01	2,7
PZK-PZJ	75,7	1,51	2,60	0,048	1,9	8	0,200	CUMPLE	68,9	2,19	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	0,79	0,032	0,016	4,0	0,02	0,057	0,01	2,2
PZL-PZM	37,8	1,50	0,98	0,057	2,3	8	0,200	CUMPLE	42,2	1,34	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	0,57	0,017	0,021	2,0	0,03	0,050	0,02	1,3
PZM-PZ1	53,8	1,77	3,46	0,048	1,9	8	0,200	CUMPLE	79,4	2,53	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	0,91	0,043	0,016	5,3	0,02	0,067	0,01	2,5
PZINICI-PZA	53,2	1,50	3,53	0,045	1,8	8	0,200	CUMPLE	80,2	2,55	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	0,92	0,044	0,016	5,5	0,02	0,068	0,01	2,5
PZA-PZB	26,0	2,05	2,54	0,054	2,1	8	0,200	CUMPLE	68,0	2,16	0,03	0,4	0,148	0,37	0,086	0,87	0,038	0,019	4,6	0,03	0,068	0,02	2,1
PZB-PZE	37,4	3,21	0,53	0,085	3,4	8	0,200	CUMPLE	31,2	0,99	0,10	0,54	0,248	0,586	0,17	0,54	0,015	0,029	1,5	0,05	0,064	0,03	0,9
PZE-PZH	21,5	3,95	1,58	0,075	3,0	8	0,200	CUMPLE	53,7	1,71	0,07	0,492	0,21	0,51	0,14	0,84	0,036	0,026	4,0	0,04	0,078	0,03	1,6
PZH-PZJ	37,7	5,36	0,64	0,100	3,9	8	0,200	CUMPLE	34,1	1,08	0,16	0,613	0,308	0,704	0,221	0,66	0,023	0,035	2,2	0,06	0,084	0,04	1,0
PZJ-PZ1	37,3	6,97	1,23	0,097	3,8	8	0,200	CUMPLE	47,4	1,51	0,15	0,6	0,298	0,686	0,213	0,91	0,042	0,034	4,1	0,06	0,101	0,04	1,4
PZ1-PZ4	37,2	1,50	5,19	0,042	1,6	8	0,200	CUMPLE	97,2	3,09	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	1,12	0,064	0,016	8,0	0,02	0,089	0,01	3,1
PZ4-PZ-7	34,6	2,65	3,15	0,057	2,2	8	0,200	CUMPLE	75,8	2,41	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	1,03	0,054	0,021	6,3	0,03	0,087	0,02	2,3
PZ7-PZ10	34,6	4,72	0,43	0,102	4,0	8	0,200	CUMPLE	28,1	0,89	0,17	0,624	0,315	0,716	0,229	0,56	0,016	0,036	1,5	0,06	0,079	0,05	0,8
PZ10-PZ11	86,6	12,56	10,57	0,081	3,2	8	0,200	CUMPLE	138,7	4,42	0,09	0,52	0,232	0,554	0,161	2,30	0,269	0,028	28,7	0,05	0,315	0,03	4,1
PZ7-PZ12	90,0	1,50	9,89	0,037	1,5	8	0,200	CUMPLE	134,2	4,27	0,01	0,292	0,092	0,239	0,041	1,25	0,079	0,012	11,6	0,02	0,098	0,01	4,4
PZ12-PZ13	23,2	1,50	2,16	0,049	1,9	8	0,200	CUMPLE	62,7	1,99	0,02	0,362	0,124	0,315	0,067	0,72	0,027	0,016	3,3	0,02	0,051	0,01	2,0
PZ13-PZ14	17,9	1,50	1,79	0,051	2,0	8	0,200	CUMPLE	57,1	1,82	0,03	0,4	0,148	0,37	0,086	0,73	0,027	0,019	3,2	0,03	0,057	0,02	1,8
PZ14-PZ11	20,2	1,50	0,99	0,057	2,2	8	0,200	CUMPLE	42,5	1,35	0,04	0,427	0,165	0,41	0,102	0,58	0,017	0,021	2,0	0,03	0,050	0,02	1,3
PZ11-RCL	34,6	14,11	3,82	0,103	4,0	8	0,200	CUMPLE	83,4	2,65	0,17	0,624	0,315	0,716	0,229	1,66	0,140	0,036	13,4	0,06	0,203	0,05	2,5

Fuente: Elaboración propia tomado de acuerdo a la metodología propuesta por López Cualla

Tabla 20: Cálculo de las pendientes (parte 2)

Tramo	PÉRDIDAS				Cota Rasante		Cota Clave		Cota Batea		Cota Lámina		Cota Energía		Prof. A Clave		Prof. A Clave		S
	h (Pérd. Ener. transición)	Rc/D	h curv. Tabla14.4	h total	De	A	De	A	De	A	De	A	De	A	De	A	De	A	
De - A	m		m	m	msnm	msnm	msnm	msnm	msnm	msnm	msnm	msnm	msnm	msnm	m	m	m	m	%
1	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
PZ18-PZ19	0,001	3	0,003	0,004	572,92	572,85	571,92	571,65	571,72	571,45	571,75	571,48	571,77	571,50	1,00	1,20	1	1,2	0,72
PZ19-PZ20	0,001	0	0,000	0,001	572,85	572,83	571,65	571,53	571,45	571,33	571,48	571,36	571,49	571,37	1,20	1,30	1,2	1,3	1,29
PZ20-PZ21	0,000	3	0,003	0,003	572,83	573,15	571,52	571,24	571,32	571,04	571,36	571,08	571,37	571,09	1,31	1,91	1,3	1,9	0,81
PZ21-PZ22	0,005	0	0,000	0,005	573,15	571,95	571,24	570,75	571,04	570,55	571,08	570,59	571,09	570,60	1,91	1,20	1,91	1,2	0,60
PZ22-PZ23	0,005	3	0,007	0,012	571,95	569,00	570,70	567,80	570,50	567,60	570,54	567,64	570,59	567,69	1,25	1,20	1,25	1,2	3,57
PZ20-PZ24	0,005	0	0,000	0,005	572,83	572,92	571,63	571,12	571,43	570,92	571,46	570,95	571,47	570,96	1,20	1,8	1,2	1,8	0,64
PZ24-PZ25	0,004	3	0,007	0,011	572,92	568,45	571,08	567,25	570,88	567,05	570,91	567,08	570,96	567,13	1,84	1,20	1,84	1,2	4,59
PZ25-PZ23	0,000	0	0,000	0,000	568,45	569,00	567,28	567,03	567,08	566,83	567,12	566,87	567,12	566,87	1,17	1,97	1,2	2	0,83
PZ23-PZ17	0,020	3	0,022	0,042	569,00	569,88	566,99	566,91	566,79	566,71	566,86	566,78	566,87	566,79	2,01	2,97	2,01	2,97	0,23
PZ15-PZ16	0,007	0	0,000	0,007	573,83	572,95	572,63	571,75	572,43	571,55	572,46	571,58	572,48	571,60	1,20	1,2	1,2	1,2	1,17
PZ16-PZ17	0,013	0	0,000	0,013	572,95	569,88	571,68	567,41	571,48	567,21	571,51	567,24	571,59	567,32	1,27	2,47	1,5	2,7	5,66
PZ17-RCL	-	-	-	-	569,88	559,41	566,91	558,39	566,71	558,19	566,74	558,22	566,75	558,23	2,97	1,02	3,15	1,2	10,02
PZ2-PZ3	0,005	0	0,000	0,005	574,64	574,34	573,44	573,14	573,24	572,94	573,28	572,98	573,29	572,99	1,20	1,2	1,2	1,2	0,56
PZ3-PZ4	0,001	3	0,012	0,013	574,34	571,54	573,10	570,34	572,90	570,14	572,92	570,16	572,98	570,22	1,24	1,20	1,24	1,2	5,13
PZ5-PZ6	0,005	0	0,000	0,005	574,51	573,80	573,31	572,60	573,11	572,40	573,14	572,43	573,16	572,45	1,20	1,20	1,2	1,2	1,17
PZ6-PZ7	0,005	3	0,008	0,013	573,80	570,45	572,56	569,25	572,36	569,05	572,38	569,07	572,44	569,13	1,24	1,20	1,24	1,2	5,44
PZ8-PZ9	0,005	0	0,000	0,005	574,10	573,41	572,90	572,21	572,70	572,01	572,73	572,04	572,75	572,06	1,20	1,20	1,2	1,2	0,97
PZ9-PZ10	0,020	0	0,000	0,020	573,41	570,30	572,16	568,99	571,96	568,79	571,99	568,82	572,05	568,88	1,25	1,31	1,24	1,3	4,45
PZC-PZB	0,002	3	0,005	0,008	577,00	575,27	575,80	574,07	575,60	573,87	575,62	573,89	575,66	573,93	1,20	1,2	1,2	1,2	3,22
PZD-PZB	0,000	3	0,003	0,003	575,12	575,27	573,92	573,72	573,72	573,52	573,75	573,55	573,77	573,57	1,20	1,55	1,2	1,55	0,74
PZF-PZE	0,001	3	0,008	0,009	576,90	574,90	575,70	573,70	575,50	573,50	575,52	573,52	575,57	573,57	1,20	1,2	1,2	1,2	3,64
PZG-PZE	0,002	3	0,005	0,007	574,80	574,90	573,60	573,40	573,40	573,20	573,43	573,23	573,45	573,25	1,20	1,5	1,2	1,5	0,74
PZI-PZH	0,003	3	0,007	0,010	576,68	574,23	575,48	573,03	575,28	572,83	575,30	572,85	575,35	572,90	1,20	1,2	1,2	1,2	4,04
PZK-PZJ	0,001	3	0,007	0,008	575,95	573,98	574,75	572,78	574,55	572,58	574,57	572,60	574,61	572,64	1,20	1,20	1,2	1,2	2,60
PZL-PZM	0,003	0	0,000	0,003	575,72	575,35	574,52	574,15	574,32	573,95	574,35	573,98	574,37	574,00	1,20	1,20	1,2	1,2	0,98
PZM-PZ1	0,002	3	0,011	0,013	575,35	573,47	574,13	572,27	573,93	572,07	573,96	572,10	574,00	572,14	1,22	1,20	1,22	1,2	3,46
PZINICI-PZA	0,001	3	0,008	0,009	577,81	575,93	576,61	574,73	576,41	574,53	576,43	574,55	576,48	574,60	1,20	1,20	1,2	1,2	3,53
PZA-PZB	0,002	0	0,000	0,002	575,93	575,27	574,73	574,07	574,53	573,87	574,56	573,90	574,59	573,93	1,20	1,20	1,2	1,2	2,54
PZB-PZE	0,002	0	0,000	0,002	575,27	574,90	573,70	573,50	573,50	573,30	573,55	573,35	573,56	573,36	1,57	1,40	1,57	1,4	0,53
PZE-PZH	0,001	0	0,000	0,001	574,90	574,23	573,37	573,03	573,17	572,83	573,21	572,87	573,24	572,90	1,53	1,20	1,53	1,2	1,58
PZH-PZJ	0,002	0	0,000	0,002	574,23	573,98	573,02	572,78	572,82	572,58	572,88	572,64	572,90	572,66	1,21	1,20	1,21	1,2	0,64
PZJ-PZ1	0,002	0	0,000	0,002	573,98	573,47	572,74	572,28	572,54	572,08	572,60	572,14	572,63	572,17	1,24	1,19	1,25	1,2	1,23
PZ1-PZ4	0,001	0	0,000	0,001	573,47	571,54	572,25	570,32	572,05	570,12	572,07	570,14	572,17	570,24	1,22	1,22	1,2	1,2	5,19
PZ4-PZ-7	0,004	0	0,000	0,004	571,54	570,45	570,32	569,23	570,12	569,03	570,16	569,07	570,24	569,15	1,22	1,22	1,2	1,2	3,15
PZ7-PZ10	0,025	3	0,028	0,054	570,45	570,30	569,23	569,08	569,03	568,88	569,10	568,95	569,12	568,97	1,22	1,22	1,2	1,2	0,43
PZ10-PZ11	0,013	3	0,041	0,054	570,30	560,93	568,85	559,70	568,65	559,50	568,70	559,55	568,83	559,68	1,45	1,23	1,42	1,2	10,57
PZ7-PZ12	0,005	0	0,000	0,005	570,45	561,75	569,45	560,55	569,25	560,35	569,27	560,37	569,35	560,45	1,00	1,20	1	1,2	9,89
PZ12-PZ13	0,000	0	0,000	0,000	561,75	561,25	560,60	560,10	560,40	559,90	560,42	559,92	560,44	559,94	1,15	1,15	1,2	1,2	2,16
PZ13-PZ14	0,001	3	0,004	0,005	561,25	560,93	560,09	559,77	559,89	559,57	559,92	559,60	559,94	559,62	1,16	1,16	1,2	1,2	1,79
PZ14-PZ11	0,012	3	0,016	0,028	560,93	560,93	559,77	559,57	559,57	559,37	559,61	559,41	559,62	559,42	1,16	1,36	1,2	1,4	0,99
PZ11-RCL	-	-	-	-	560,93	559,41	559,41	558,09	559,21	557,89	559,28	557,96	559,39	558,07	1,52	1,32	1,4	1,2	3,82

Fuente: Elaboración propia tomado de acuerdo a la metodología propuesta por López Cualla.

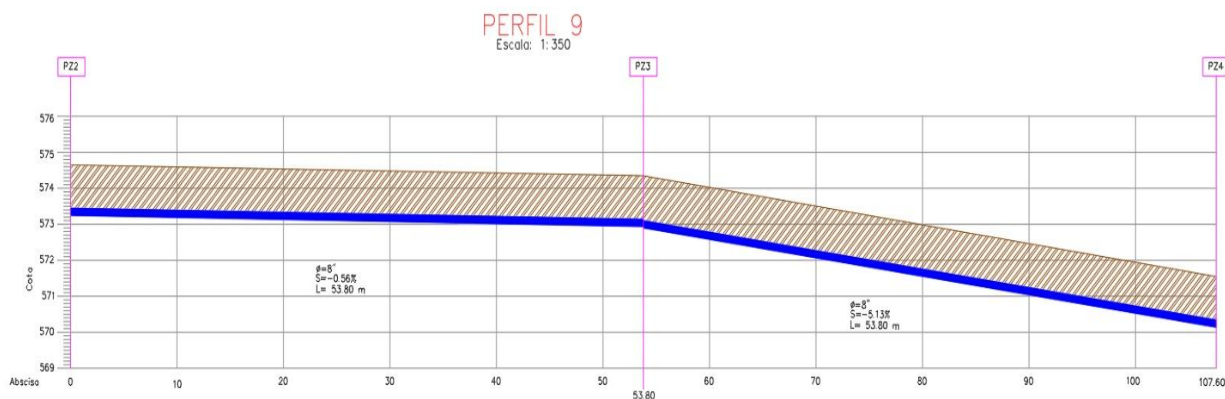
4.3 Planos

Gracias a los planos realizados, se puede observar información tal como el sentido del flujo, cotas claves y cotas bateas de la tubería en cada uno de los pozos, y la ubicación de cada uno de éstos. Además, mediante el trazado de los perfiles se logra visualizar la pendiente de inclinación en la tubería, y se corrobora el correcto flujo de agua por gravedad en el sistema empleado.

Figura 5: Vista en planta tramo 9



Figura 6: Vista en perfil del tramo 9



Nota: Ver anexo 1 (anexo-planos-alcantarillado) para tener una ampliada y mejorada visualización de todos los tramos a intervenir en el terreno.

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El presente proyecto llevó a cabo la elaboración del diseño del sistema de alcantarillado para aguas residuales en la urbanización Acrópolis, localizada en el municipio de Palermo, Huila. Contar con éste sistema es fundamental para garantizar la salud pública y el bienestar de la población. La red de alcantarillado permite recolectar y transportar de manera eficiente las aguas residuales generadas por la población que habitará en el lugar donde se ejecutará el proyecto. Para la elaboración de éste, fue necesario seguir un lineamiento, cumplir con unos parámetros hidráulicos y aplicar la normativa vigente en nuestro país (*Resolución 330 de 2017 Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio*).

- Se identificó las zonas donde irán ubicados los pozos necesarios para el correcto funcionamiento de la red de alcantarillado; de los cuales 25 pozos se encuentran en la primera etapa y 14 pozos en la segunda. En los planos anexados se podrá observar el detallado de éstos, junto con sus cotas claves, cotas bateas, longitudes, pendientes y sentido de flujo que manejan las tuberías.
- Se elaboró un presupuesto general oficial del proyecto para la construcción del sistema en la primera etapa, el cual representa un valor total de \$1'009.055.733 en donde los costos directos, que son los costos relacionados a los materiales, transporte de los mismos y mano de obra de las actividades designadas para la ejecución de la obra, tienen un valor de \$813,754,624; y los costos indirectos, que son aquellos costos relacionados al personal necesario, como son los ingenieros, la secretaria, gastos de papelería, costo de obras imprevistas que se presenten durante la ejecución de la obra y el valor de la Utilidad pagada al contratista constructor por el manejo de los recursos para la finalidad del objeto del contrato los cuales no son gastos asumidos en los APUs y que son estrictamente necesario la presencia, gastos y/o participación de cada uno de ellos, estos costos corresponden al valor de \$195,301,110 equivalente al 24% de los costos directos.

- La tubería que se empleará en todo el proyecto será tipo PVC de diámetro 8" (200mm) para los tramos centrales, y para las domiciliarias se tendrá en cuenta un diámetro de 6" (160mm) en el mismo material. Para llegar a la elección de estos diámetros se realizaron los cálculos respectivos cumpliendo con los parámetros, donde se determinó que con estas características se cumplirá el correcto flujo de las aguas servidas.
- Al momento de realizar la instalación de la red de tubería, se recomienda compactar el material de relleno en capas cuyo espesor sea de cada 10cm a 20cm.
- Se recomienda que la pendiente mínima en las tuberías domiciliarias sea del 2% hasta su conexión de la red principal.
- Se recomienda que la cuadrilla de topografía esté al pendiente en la determinación de los niveles de excavación para la instalación de la tubería, siguiendo las cotas establecidas en los cálculos y en los planos.
- Al nivel de la cota batea se debe profundizar 10cm más con el fin de aplicar la cama de arena fina, ya que ésta es la encargada de aislar la tubería del terreno natural y con ello evitar posibles rupturas.
- El inspeccionar y el dar un mantenimiento adecuado a la red de tubería y a los pozos, evitará el deterioro del sistema a mediano plazo.
- Para la construcción de la primera etapa es necesaria la instalación de 1.050 m en tubería de 6" que pertenecen a la red domiciliaria, y un total de 1.458 m en tubería con diámetro de 8" que es la red principal conductora de las aguas recolectadas.
- En total para la primera etapa se deben instalar 25 pozos con profundidad promedio de 1.25 m.

**A. Anexo: Planos finales alcantarillado sanitario
Acrópolis.**

B. Anexo: Presupuesto, APU's y sus componentes.

Bibliografía

Álvarez Álvarez, M. J., & Perez Puga, D. V. (2022). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario en la ciudadela “Los Vergeles” del cantón Huaquillas provincia de El Oro. *Repositorio Institucional de la Universidad Estatal del Sur de Manabí [tesis de pregrado]*, URI: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3620>.

Arevalo Sastoque, W., Garzón Pardo, J., & Real Pérez, D. (2015). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la vereda Altamar en el Municipio de la Calera en Cundinamarca. *Repositorio Institucional de la Universidad Gran Colombia [tesis de pregrado]*, URI: https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3939/Dise%C3%B1o_sistema%20alcantarillado_sanitario.pdf?sequence=1.

Castro Molina, F. J. (2018). Abraham Maslow, las necesidades humanas y su relación con los cuidadores profesionales. *Cultura de los Cuidados*, 22(52), 102-108, doi:10.14198/cuid.2018.52.09.

Díaz Canel, M. M., & Delgado Fernández, M. (2021). Gestión del gobierno orientado a la innovación: Contexto y caracterización del Modelo. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(1), 212-235, URI: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000100006.

Gil Espadas, G. d. (2019). Renovación de red de saneamiento en Calle Saavedra Fajardo, San Ginés (Murcia). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica de Cartagena (tesis de pregrado)*, URI: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/8142>.

Grupo EPM. (2022). Glosario de Conceptos de Aguas Nacionales: Saneamiento y Alcantarillado. *Grupo EPM, Sitio Oficial*, en línea: <https://www.grupo-epm.com/site/aguasnacionales/nuestra-gestion/glosario> [consultado el 26 de diciembre de 2022].

Guerra Herrera, G. C., & Logroño Naranjo, S. I. (2019). Evaluación del impacto ambiental de los sistemas de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales en Ecuador. *Creatividad y Desarrollo*, 3(2), 94-116, <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.2.1.783>.

López, A. (2022). La modernización y las políticas de higiene y saneamiento en San Pedro Sula en las primeras tres décadas del siglo XX. *Revista de la Universidad LAMJO*, 18(2), 56-70, URI: <https://lamjol.info/index.php/RU/article/view/15400>.

Montejo, D., Arroyo, M., Honorato, A., & Zamora, A. (2018). Comparativa de metodologías para el diseño de redes de alcantarillado sanitario. *Rinderesu, Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable*, 3(2), 144-160, URI: <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/31>.

Palma Quijije, M. C., Reyes Pin, L. M., Sánchez Rodríguez, V. E., & Lucio Villacreses, L. F. (2021). Problemas Percibidos En Jipijapa Debido Al Estado Actual Del Alcantarillado Sanitario. *Espacial Medio Ambiente*, 5(2), 103-114, <https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v4.n3.2020.274>.

Quintero Angarita, J. R. (2009). Teoría de las necesidades de Maslow. *Repostiorio de la UNAM [Investigación Doctoral]*, URI: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50269140/Teoria_de_Maslow-libre.pdf.

Riaño, M. (2021). Actividades relativas al mantenimiento y cuidado de la propia persona, tales como: comer, dormir, asearse, consultar al médico, convalecer, recibir un masaje, cortarse el pelo o tomarse un aperitivo. *EUSTAT, Instituto Vasco de Estadística [Investigación académica]*, URI:

https://www.eustat.eus/documentos/opt_0/tema_173/elem_3233/definicion.html#:~:text=Definici%C3%B3n%20Necesidades%20fisiol%C3%B3gicas&text=Actividades%20relativas%20al%20mantenimiento%20y,pelo%20o%20tomarse%20un%20aperitivo.

Sánchez Montero, M. E. (2020). Diseño de alcantarillado sanitario en el Barrio Villa Ligia, Pérez Zeledón. *Repositorio Institucional de la UniLatina [tesis de pregrado]*, URI: https://repositorio.ulatina.ac.cr/bitstream/20.500.12411/178/1/TFG_Ulatina_Mauricio_Sanchez_Montero.pdf.

Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado. (2018). Criterios y Lineamientos Técnicos para la Factibilidad del Alcantarillado Sanitario. *Gobierno Nacional de México, Sitio Oficial*, URI: https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_sanitario.pdf.

Valdivielso, A. (2020). Información sobre redes y sistemas de alcantarillado: Tubería Pluvial. *Sección del Recurso Hídrico, Sitio oficial*, en línea: <https://www.iagua.es/respuestas/sistema-drenaje-pluvial#:~:text=Un%20sistema%20de%20drenaje%20pluvial%20es%20un%20sistema%20de%20tuber%C3%ADas,evitar%20da%C3%B1os%20materiales%20y%20humanos>. [consultado el 19 de diciembre de 2022].

<https://minvivienda.gov.co/plan-maestro-alcantarillado-de-mocoa/el-proyecto>

<https://cu.epm.com.co/institucional/proyectos/proyectos-en-el-territorio/proyecto-interceptor-sur>

<https://www.metropol.gov.co/noticias/inicia-la-construcci%C3%B3n-del-interceptor-sur>