

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“PROPUESTA DE MEJORA DEL COLECTOR DE DESAGUE DE
LA AVENIDA CELESTINO VARGAS DEL DISTRITO DE
POCOLLAY MEDIANTE MODELAMIENTO HIDRAULICO CON
SERWERCAD, TACNA, 2024”**

**PARA OPTAR:
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. SALMA DANIELA GIL VELASQUEZ

TACNA - PERÚ

2025

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DEL COLECTOR DE
DESAGUE DE LA AVENIDA CELESTINO VARGAS EN EL
DISTRITO DE POCOLLAY MEDIANTE MODELAMIENTO
HIDRAULICO CON SERWERCAD, TACNA, 2024”**

Tesis sustentada y aprobada el 24 de diciembre del 2025; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTA : Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES

SECRETARIO : Mtro. EDGAR HIPOLITO CHAPARRO QUISPE

**VOCAL : Mtro. ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERÓN
JUÁREZ**

ASESOR : Mtro. JIMMI YURY SILVA CHARAJA

DECLARACION JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Salma Daniela Gil Velasquez, egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificada con DNI 72907094, así como Jimmi Yury Silva Charaja con DNI 30675650; declaramos en calidad de autor y asesor que:

1. Somos autores de la tesis titulada: *“Propuesta de mejora del colector de desagüe de la avenida Celestino Vargas del distrito de Pocollay mediante modelamiento hidráulico con SERWERCAD, Tacna, 2024”*, la cual presentamos para optar el título Profesional de *Ingeniero civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis*, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la *tesis*, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 24 de diciembre del 2025


Salma Daniela Gil Velasquez
DNI 72907094


Mtro. Jimmi Yury Silva Charaja DNI
DNI 30675650

DEDICATORIA

A mis padres, Silvia y Victor, por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre a mi lado en cada etapa de mi vida.

A mi hermano Wender, por su apoyo constante, sus palabras de aliento y porque incluso en los momentos más silenciosos su presencia fue mi refugio.

Y a Diego, mi compañero de vida, por su paciencia, comprensión y por estar presente en los momentos más desafiantes de este camino. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

Esta meta es también de ustedes.

Salma Daniela Gil Velasquez

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme guiado por el buen camino, por darme salud y la oportunidad de cumplir con mis metas.

A mi familia por el apoyo incondicional a lo largo de mi investigación.

A mi asesor Ing Jimmi Y. Silva Charaja por la orientación y el apoyo que me brindó durante la investigación presente.

A la Universidad Privada de Tacna por brindarme la enseñanza a mi formación profesional.

A todos mis seres queridos y amigos que me ayudaron en el proceso de elaboración de la tesis.

Salma Daniela Gil Velasquez

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACION JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general:	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Justificación e importancia	3
1.3.1. Justificación Científica	3
1.3.2. Justificación Social	3
1.3.3. Justificación Económica	4
1.3.4. Justificación Ambiental	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	5
1.5.1. Hipótesis General	5
1.5.2. Hipótesis Específica	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes	6
2.1.1. A nivel Local	6
2.1.2. A nivel Nacional	6
2.1.3. A nivel Internacional	7
2.2. Bases teóricas	8
2.2.1. Sistema de Alcantarillado	8
2.2.1.1. Sistemas Convencionales	8

2.2.1.2.	Sistemas No Convencionales	8
2.2.2.	Importancia del Mejoramiento de Infraestructura Sanitaria	9
2.2.3.	Clasificación de aguas residuales	9
2.2.4.	Componentes del sistema recolección de alcantarillado Sanitario	10
2.2.4.1.	Redes de recolección	10
2.2.4.2.	Conexiones Domiciliarias	10
2.2.4.3.	Colector	11
2.2.4.4.	Cámara de inspección	13
2.2.4.5.	Tratamiento:.....	14
2.2.5.	Período de diseño.....	15
2.2.6.	Población de diseño.....	15
2.2.6.1.	Métodos de Cálculo para la Población.....	16
2.2.6.2.	Metodologías de Cálculo	16
2.2.7.	Caudales de Diseño.....	20
2.2.7.1.	Coeficiente de Retorno de Agua / Alcantarillado (C).....	20
2.2.7.2.	Caudal de diseño	20
2.2.8.	Referencias del programa.....	22
2.2.9.	SewerCAD	22
2.2.10.	Modelamiento Hidráulico de Redes de Alcantarillado	23
2.2.11.	SewerCAD como Herramienta de Modelamiento.....	23
2.3.	Definición de términos	23
2.3.1.	Área contributiva sanitaria.	23
2.3.2.	Caudal de diseño.....	23
2.3.3.	Caudal medio.....	23
2.3.4.	Caudal máximo horario.....	24
2.3.5.	Coeficiente de retorno.....	24
2.3.6.	Coeficiente de rugosidad (n de Manning).	24
2.3.7.	Colector de desagüe.....	24
2.3.8.	Diámetro hidráulico.	24
2.3.9.	Dotación de agua.....	24
2.3.10.	Infiltración y exfiltración.....	25
2.3.11.	Material de las tuberías.....	25
2.3.12.	Modelamiento hidráulico.	25
2.3.13.	Pendiente mínima.	25
2.3.14.	Velocidad mínima de arrastre.	25
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		26
3.1.	Diseño de la investigación	26

3.2.	Acciones y actividades.....	26
3.2.1.	Recopilación de información existente.....	26
3.2.2.	Inspección de buzones	26
3.2.3.	Solicitud y obtención de Base Gráfica de Red de Alcantarillado	27
3.2.4.	Modelamiento en software SERWERCAD	29
3.3.	Materiales e instrumentos	29
3.4.	Población y muestra de estudio	29
3.4.1.	Población	29
3.4.2.	Muestra y Justificación Metodológica.....	30
3.5.	Operacionalización y definición de variables de investigación	30
3.6.	Procesamiento y análisis de datos.....	32
3.6.1.	Información inicial	32
3.6.2.	Características de la Población.....	34
3.6.3.	Dotación	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		42
4.1.	Estado actual del sistema hidráulico	42
4.1.1.	Características principales del colector	42
4.1.2.	Resultados de simulación hidráulica actual	42
4.1.3.	Identificación de zonas con colmatación o bajo rendimiento.....	44
4.1.4.	Análisis de pendientes y diámetros actuales	45
4.1.5.	Impacto del mantenimiento y limpieza	45
4.1.6.	Diagnóstico de deficiencias detectadas	45
4.2.	Propuesta de mejora.....	45
4.2.1.	Descripción técnica de las modificaciones propuestas	45
4.2.1.1.	Agrupación en dos tramos de intervención	45
4.2.1.2.	Mejoras aplicadas	45
4.2.1.3.	Resumen de mejoras en tramos I y II	46
4.2.2.	Infraestructura complementaria:	47
4.2.3.	Sistema de monitoreo continuo con sensores de nivel y velocidad (IoT) para diagnóstico en tiempo real:	47
4.2.4.	Beneficios concretos para el colector de la avenida Celestino Vargas	49
4.2.5.	Plan operativo trifásico.....	49
4.2.6.	Simulación hidráulica	51
4.2.7.	Comparación de desempeño: Antes vs Después	51
4.3.	Colector Existente.....	53
4.4.	Buzones Existente	56
4.5.	Colectores Proyecto.....	53

4.6. Buzón Proyectado	55
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	57
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Profundidad para Caja de Registro	11
Tabla 2. Coeficiente de Manning en Algunos Materiales	13
Tabla 3. Distancia Máxima entre Buzones	14
Tabla 4. Periodo Óptimo de Diseño	15
Tabla 5. Datos de Base Gráfica de la Avenida Celestino Vargas.....	27
Tabla 6. Operacionalización de variables de investigación	31
Tabla 7. Red Colectora Existente	34
Tabla 8. Censo Distrital Pachía, Calana y Pocollay	34
Tabla 9. Población y Tasa de Crecimiento de la Ciudad de Tacna	35
Tabla 10. Tasa de Crecimiento para los Distritos de Interés.....	35
Tabla 11. Número de Habitantes del Distrito de Pocollay	36
Tabla 12. Parámetros por Monitorear y su Justificación Local	48
Tabla 13. Colector Existente.....	53
Tabla 14. Buzones Existentes.....	56
Tabla 15. Colectores Proyectados	53
Tabla 16. Buzón Proyectado.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Distrito de Pocollay	32
Figura 2. Vista Satelital de la Avenida Celestino Varga	33
Figura 3. Tensión Tractiva y Pendientes Criticas	43
Figura 4. Perfil de Zona Critica	43
Figura 5. Tramos Críticos	44
Figura 6. Trazo que Cumple con Velocidades Admisibles	46
Figura 7. Diámetros de Colectores	47
Figura 8. Situación Inicial de Tramos Críticos de Colmatación	52
Figura 9. Pendiente Critica I	53
Figura 10. Pendiente Crítica II	54
Figura 11. Tramos Críticos Mejorados	55
Figura 12. Perfil Hidráulico Propuesto del Tramo I Mejorado	56
Figura 13. Perfil Hidráulico Propuesto del Tramo II Mejorado	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia.....	66
Anexo 2. Hoja de cálculo	68
Anexo 3. Plano de Colector Existente y Condiciones Actuales	76
Anexo 4. Plano de Colector Propuesto y Condiciones Eficientes ..	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación analiza el comportamiento hidráulico del colector de la avenida Celestino Vargas en Pocollay (Tacna) con el propósito de determinar las causas de los atascos y la sedimentación observadas, pese a su correcta instalación. La clave del problema radicaba en un trazado con pendientes desiguales y diámetros insuficientes que, bajo ciertas demandas de caudal, generaba velocidades tan bajas que el flujo no lograba arrastrar adecuadamente los sólidos. El estudio partió de un modelado detallado en SewerCAD, en el que se parametrizaron diámetros de 200 a 300 mm, una rugosidad de Manning $n=0,013$ y caudales calculados según Norma OS.100, empleando coeficientes $k_1=1,30$, $k_2=2,05$ y retorno $C=0,80$. Los resultados fueron concluyentes: varios tramos alcanzaban profundidades superiores al 75 % y velocidades medias de apenas 0,14 m/s, muy por debajo del umbral de autolimpieza (0,6 m/s). La propuesta técnica planteó el reajuste de pendientes dentro del rango óptimo (0,003–0,010 m/m), la ampliación de diámetros en puntos críticos hasta 350 mm y el uso de tubería PVC con $n=0,010$. Tras la optimización, las velocidades se incrementaron a valores entre 0,6 m/s y 2,9 m/s, las profundidades relativas se redujeron por debajo del 55 % y las pérdidas de carga disminuyeron en un 22 %, garantizando además un margen de seguridad de 15 % para caudales máximos horarios proyectados a 20 años. En conclusión, la red optimizada no solo mejora significativamente su eficiencia hidráulica y prolonga su vida útil, sino que también garantiza un funcionamiento confiable ante lluvias intensas. Este enfoque, basado en criterios normativos y en la simulación hidráulica avanzada, puede replicarse con éxito en otras redes con características similares.

Palabras clave: Modelamiento Hidráulico; SewerCad; Colector; Propuesta de Mejoramiento.

ABSTRACT

This research analyzes the hydraulic behavior of the sewer collector along Celestino Vargas Avenue in Pocollay (Tacna), with the purpose of identifying the causes of blockages and sedimentation observed despite its proper installation. The core of the problem lay in a layout with uneven slopes and insufficient pipe diameters that, under certain flow demands, generated velocities so low that the flow failed to adequately transport solids. The study was based on a detailed model developed in SewerCAD, in which pipe diameters ranging from 200 to 300 mm, a Manning roughness coefficient $n = 0,013$, and flow rates calculated according to Standard OS.100 were parameterized, using coefficients $k_1 = 1,30$, $k_2 = 2,05$, and return factor $C = 0,80$. The results were conclusive: several sections reached depths exceeding 75 % and average velocities of only 0,14 m/s, far below the self-cleansing threshold (0,6 m/s). The proposed technical solution involved adjusting slopes within the optimal range (0,003–0,010 m/m), increasing pipe diameters at critical points up to 350 mm, and using PVC piping with $n = 0,010$. After optimization, flow velocities increased to values between 0,6 m/s and 2,9 m/s, relative depths dropped below 55 %, and head losses decreased by 22 %, while ensuring a 15 % safety margin for peak hourly flows projected over a 20-year horizon. In conclusion, the optimized network not only significantly improves its hydraulic efficiency and extends its service life, but also ensures reliable performance under intense rainfall events. This approach, based on regulatory criteria and advanced hydraulic simulation, can be successfully replicated in other networks with similar characteristics.

Keywords: Hydraulic Modeling; SewerCad; collector; Improvement Proposal.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano y el incremento de la demanda de agua en el distrito de Pocollay (Tacna) han evidenciado las limitaciones del colector de la avenida Celestino Vargas, el cual presenta frecuentes obstrucciones acumulación de sedimentos. Esta situación refleja deficiencias hidráulicas que comprometen la eficiencia del sistema de alcantarillado, generando costos adicionales de mantenimiento y afectando la continuidad del servicio.

En este contexto, el presente estudio surge de la necesidad de garantizar un sistema de alcantarillado confiable, eficiente y sostenible, que minimice las intervenciones de mantenimiento y prolongue la vida útil de la infraestructura existente.

El objetivo principal de la investigación es desarrollar y evaluar una propuesta de mejoramiento hidráulico mediante modelación avanzada en SewerCAD, que optimice el rendimiento del sistema y asegure condiciones de autolimpieza bajo las proyecciones de caudal a 20 años. Para ello, se analizará detalladamente las pendientes y materiales actuales, y se diseñarán ajustes en diámetros, pendientes y rugosidad que respondan a los criterios normativos vigentes.

Se plantea la hipótesis de que la reconfiguración de pendientes al rango óptimo (0,003–0,010 m/m), el aumento de diámetros en los tramos críticos y el uso de tubería PVC con menor coeficiente de rugosidad (Manning $n \approx 0,010$) permitirá elevar las velocidades de flujo por encima del umbral de autolimpieza ($\geq 0,6$ m/s) y reducir la profundidad relativa por debajo del 75 %, mejorando así el comportamiento hidráulico del colector sin necesidad de ampliar sustancialmente la sección del trazado. Esta hipótesis se sustenta en estudios previos que demuestran la incidencia de la pendiente y la rugosidad en la capacidad de transporte de sólidos y la estabilidad del flujo en redes de alcantarillado.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

El colector existente ubicado en la Avenida Celestino Vargas, ha operado por más de 40 años sin intervenciones significativas de mejora. En este colector descarga las aguas residuales provenientes de los distritos de Pocollay, Calana y Pachía. Sin embargo, el colector ha mostrado insuficiencia hidráulica, atribuida principalmente a la antigüedad de las tuberías y el crecimiento poblacional sostenido en las zonas mencionadas.

La principal preocupación radica en el incremento de los caudales que circulan por el sistema de alcantarillado, lo cual compromete su capacidad hidráulica y el adecuado funcionamiento del colector.

Ante esta situación, se propone realizar un diagnóstico integral del sistema actual, con el objetivo de evaluar su desempeño hidráulico y determinar las causas específicas de la deficiencia. A partir de dicho diagnóstico, se buscará la alternativa técnica más adecuada para rehabilitar o mejorar la red de alcantarillado existente, optimizando así la capacidad y eficiencia del colector.

Para el desarrollo de esta propuesta se plantea el uso del software SewerCAD, el cual permitirá modelar hidráulicamente la red existente, simular diferentes escenarios de caudal y evaluar alternativas de diseño que garanticen el funcionamiento óptimo y sostenible del sistema de alcantarillado en el futuro.

1.2. Formulación del problema

La formulación del problema permite identificar las principales deficiencias del colector de desagüe ubicado en la avenida Celestino Vargas, así como los factores que condicionan su desempeño hidráulico. Asimismo, orienta la investigación hacia la evaluación del comportamiento actual del sistema y la determinación de alternativas de mejora basadas en el modelamiento hidráulico con SewerCAD. El análisis de estas interrogantes permitirá proponer una solución técnica que reduzca el riesgo de colmatación, incremente la estabilidad operativa del colector y asegure un adecuado funcionamiento del sistema de alcantarillado en beneficio de la población del distrito de Pocollay.

1.2.1. Problema general:

¿Cómo mejorar el colector de desagüe de la avenida Celestino Vargas en el distrito de Pocollay, Tacna mediante el modelamiento hidráulico con SERWERCAD?

1.2.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es el estado actual del sistema hidráulico del colector de la avenida Celestino Vargas del distrito de Pocollay - Tacna?
- b. ¿Qué factores de diseño influyen en el mejoramiento del colector de la avenida Celestino Vargas del distrito de Pocollay - Tacna?
- c. ¿De qué manera una propuesta de mejora en el diseño del sistema influye en el comportamiento hidráulico bajo condiciones críticas, contribuyendo a reducir las zonas con riesgo de colmatación y a mejorar la estabilidad operacional del colector?

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación Científica

El estudio se basa en la necesidad de evaluar y optimizar el comportamiento hidráulico del colector de la Avenida Celestino Vargas mediante herramientas de modelamiento computacional avanzado, específicamente con el uso del software SewerCAD. Este programa permite simular las condiciones reales del sistema, analizar su capacidad ante diferentes escenarios de caudal y proyectar alternativas de mejora basadas en criterios técnicos y científicos.

El uso del modelamiento hidráulico representa un enfoque metodológico riguroso que posibilita validar hipótesis sobre el desempeño del colector, identificar puntos críticos de insuficiencia y proponer soluciones respaldadas por evidencia cuantitativa. De esta manera, el estudio contribuye al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería sanitaria, promoviendo la aplicación de tecnologías modernas para la gestión eficiente de redes de alcantarillado.

1.3.2. Justificación Social

Desde el punto de vista social, el colector en estudio cumple un rol fundamental en la salubridad pública de los distritos de Pocollay, Calana y Pachía. Su actual estado de deterioro y su insuficiencia hidráulica pueden generar reboses, filtraciones y

contaminación ambiental, afectando directamente a la población con malos olores, proliferación de vectores y enfermedades de origen hídrico.

El mejoramiento del sistema de alcantarillado permitirá reducir riesgos sanitarios, mejorar la calidad de vida de los habitantes y garantizar un entorno urbano más limpio y saludable. Además, fortalecerá la confianza de la población en los servicios básicos, promoviendo una mayor conciencia sobre la importancia del saneamiento y la gestión responsable del agua. En consecuencia, el proyecto tiene un impacto social positivo y directo en la comunidad beneficiaria.

1.3.3. Justificación Económica

Económicamente, el estudio busca optimizar los recursos públicos y municipales mediante una intervención técnica que prioriza la rehabilitación y modernización del sistema existente en lugar de reemplazos costosos o ineficientes. La aplicación del modelamiento hidráulico permite determinar con precisión las secciones críticas y los puntos de mejora necesarios, evitando gastos innecesarios y garantizando un uso racional de los recursos financieros.

Asimismo, el adecuado funcionamiento del colector reducirá los costos asociados a emergencias sanitarias, mantenimiento correctivo y reparaciones recurrentes, generando ahorros significativos a mediano y largo plazo. A nivel macroeconómico, el proyecto contribuye al desarrollo urbano sostenible, al mejorar la infraestructura básica que sustenta la actividad económica local.

1.3.4. Justificación Ambiental

Desde la perspectiva ambiental, la mejora del colector permitirá minimizar los impactos negativos derivados de los vertimientos o filtraciones de aguas residuales, que actualmente pueden afectar suelo, vegetación y cuerpos de agua cercanos. Un sistema de alcantarillado eficiente es esencial para proteger los recursos hídricos y preservar el equilibrio ecológico de la zona.

La intervención propuesta busca garantizar que la conducción de las aguas residuales se realice de forma segura, controlada y conforme a las normas ambientales vigentes, reduciendo la contaminación y favoreciendo la sostenibilidad del entorno urbano. Además, la aplicación de herramientas de simulación hidráulica como SewerCAD promueve una gestión ambiental basada en evidencia técnica y científica.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Proponer el mejoramiento del colector de la avenida Celestino Vargas del distrito de Pocollay, mediante el modelamiento hidráulico realizado en SERWERCAD.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Evaluar el estado actual del sistema hidráulico del colector ubicado en la avenida Celestino Vargas, distrito de Pocollay - Tacna.
- b. Identificar los factores de diseño que inciden en el mejoramiento del colector de la avenida Celestino Vargas en el distrito de Pocollay - Tacna.
- c. Formular una propuesta de mejora y evaluar el comportamiento hidráulico del colector en condiciones críticas en la avenida Celestino Vargas, distrito de Pocollay – Tacna.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

El modelamiento hidráulico permitirá plantear una propuesta de mejora que optimice el desempeño del colector de la avenida Celestino Vargas, distrito de Pocollay - Tacna.

1.5.2. Hipótesis Específica

- a. La identificación de las deficiencias del estado actual del colector de la avenida Celestino Vargas permitirá plantear alternativas de mejora en su funcionamiento hidráulico.
- b. El reconocimiento de los factores de diseño que influyen en el colector de la avenida Celestino Vargas permitirá orientar adecuadamente su optimización hidráulica.
- c. La implementación de una propuesta de mejora que optimice pendientes, diámetros y puntos de inspección mejorará de manera significativa el comportamiento hidráulico del colector bajo condiciones críticas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel Local

En el ámbito regional, diversas investigaciones han abordado el análisis y modelamiento de sistemas hidráulicos en la ciudad de Tacna y zonas cercanas, aportando metodologías aplicables a la presente propuesta de mejora del colector de desagüe de la avenida Celestino Vargas.

Cruz (2023) desarrolló un modelamiento hidráulico del sistema de agua potable en Sobraya, Tacna, evaluando la capacidad de las redes y proponiendo alternativas para optimizar el servicio. Si bien el estudio se centra en agua potable, la metodología de recopilación de datos, simulación hidráulica y análisis del comportamiento del flujo constituye un aporte directo para la evaluación de redes sanitarias en la región.

Asimismo, Cama y Huanca (2022) realizaron un modelamiento hidráulico para el control de pérdidas y la gestión del sistema de agua potable de Piura, demostrando la utilidad de la simulación hidráulica para detectar deficiencias en redes urbanas. Su aporte metodológico es relevante para el análisis de redes de alcantarillado, especialmente en la identificación de zonas críticas.

Por otro lado, Huamán (2023) evaluó los colectores primarios de la comunidad de Huaycán mediante modelamiento hidráulico, identificando problemas de capacidad, pendientes insuficientes y riesgos de rebose. Este antecedente se vincula directamente con la problemática de colectores sanitarios urbanos, mostrando cómo la simulación permite diagnosticar las deficiencias de una red existente y sustentar propuestas de mejora.

Estos estudios regionales demuestran la importancia del modelamiento hidráulico como herramienta para mejorar infraestructura básica y respaldan la metodología aplicada en el presente trabajo.

2.1.2. A nivel Nacional

A nivel nacional, múltiples investigaciones han empleado el software *SewerCAD* y herramientas similares para evaluar y diseñar sistemas de alcantarillado, aportando criterios técnicos fundamentales para la presente propuesta.

Santos (2019) realizó un modelamiento hidráulico del sistema de alcantarillado del Callao, Ventanilla y San Martín de Porres, identificando deficiencias de capacidad y proponiendo rediseños basado en caudales máximos horarios y criterios de autolimpieza. Su estudio destaca por el uso directo de *SewerCAD*, lo cual constituye un referente metodológico para el presente proyecto.

Vargas (2025) propuso el diseño de un sistema de alcantarillado para el A.H. Villa Don Víctor, en Nuevo Chimbote, utilizando *SewerCAD* para el análisis de velocidades, pendientes y diámetros. Este antecedente es especialmente pertinente, pues demuestra el uso práctico del software para optimizar redes sanitarias, similar al caso del colector de la avenida Celestino Vargas.

Finalmente, Ortega (2020) integró *WaterCAD* y *SewerCAD* en el diseño de redes de agua potable y alcantarillado en Pachacamac, detallando los criterios de selección de parámetros hidráulicos. Su estudio evidencia la versatilidad del modelamiento computacional para el diseño de infraestructura sanitaria, reforzando el fundamento técnico de la presente investigación.

2.1.3. A nivel Internacional

A nivel internacional, diversas investigaciones han validado el uso de modelos hidráulicos avanzados para el análisis, diseño y mejora de sistemas de drenaje pluvial y sanitario, aportando enfoques especializados aplicables al contexto peruano.

Singh y Patel (2024) desarrollaron el diseño de un sistema de alcantarillado pluvial utilizando *SewerCAD*, demostrando la eficiencia del modelado para analizar presiones, velocidades y autolimpieza en redes subterráneas. Su estudio evidencia la relevancia de los softwares de modelamiento para optimizar el desempeño hidráulico de colectores.

De manera complementaria, Torres y Hernández (2018) emplearon modelos hidráulicos para resolver problemas sanitarios y pluviales en Chetumal, México, identificando cuellos de botella en los colectores y proponiendo soluciones basadas en simulaciones. Este antecedente destaca la utilidad de los modelos computacionales para el diagnóstico de sistemas existentes, similar al objetivo de la presente propuesta.

Finalmente, Batha y Kluck (2025) modelaron inundaciones pluviales en áreas urbanas mediante modelos acoplados de superficie y subsuelo, demostrando la necesidad de diseñar redes sanitarias resilientes ante eventos extremos. Aunque

orientado a drenaje pluvial, su enfoque metodológico resalta la importancia de comprender el comportamiento hidráulico integral de una red urbana.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sistema de Alcantarillado

Se denomina sistema de alcantarillado o red de alcantarillado a un grupo de tuberías y diversas estructuras utilizadas para recolectar y transportar aguas residuales hasta un punto de descarga y tratamiento. Serán estructuras hidráulicas que funcionan por gravedad, por lo general suelen consistir en tuberías de sección circular enterrados bajo una vía pública.

El sistema de alcantarillado es considerado un servicio básico, sin embargo, la cobertura de estas redes en las ciudades de países en desarrollo es ínfima en relación con la cobertura de las redes de agua potable, generando importantes problemas sanitarios.

Los sistemas de alcantarillado se clasifican en convencionales y no convencionales.

2.2.1.1. Sistemas Convencionales

- a. Redes separadas: Constan de dos sistemas totalmente independientes. Es aquel en el cual se separa la evacuación de las aguas residuales de las aguas de lluvia.
- b. Alcantarillado Sanitario: Este sistema está diseñado para recolectar las aguas residuales domésticas e industriales.
- c. Alcantarillado pluvial: Es el sistema que capta y conduce las aguas de lluvia.
- d. Alcantarillado Combinado: Es el sistema que conduce simultáneamente las aguas residuales domésticas e industriales y las aguas de lluvia.

2.2.1.2. Sistemas No Convencionales

Se clasifican según el tipo de tecnología aplicada y en general se limita a la evacuación de las aguas residuales.

- a. Alcantarillado Simplificado: Este sistema de alcantarillado se diseña con los mismos lineamientos de un alcantarillado convencional, pero teniendo en cuenta

que se pueden reducir diámetros y disminuir distancias entre pozos al disponer de mejores equipos de mantenimiento.

- b. Alcantarillado condominal: Es el alcantarillado que recoge las aguas residuales de un pequeño grupo de viviendas y las conduce a un sistema de alcantarillado convencional.
- c. Alcantarillado sin Arrastre de Sólidos: Conocidos también como alcantarillados a presión, son sistemas en los cuales se eliminan los sólidos de los efluentes de la vivienda por medio de un tanque interceptor. El agua es transportada luego a un sistema de alcantarillado convencional o a una planta de tratamiento a través de tuberías de diámetro de energía uniforme y que trabajan a presión en algunas secciones.

2.2.2. Importancia del Mejoramiento de Infraestructura Sanitaria

La mejora de sistemas de alcantarillado impacta directamente en la calidad de vida de la población. Permite evitar aniegos, reducir enfermedades gastrointestinales, prevenir la contaminación de cuerpos de agua y promover el desarrollo urbano ordenado. En contextos como el de Pocollay, donde la infraestructura puede presentar deficiencias por antigüedad o crecimiento urbano no planificado, estas mejoras son fundamentales.

2.2.3. Clasificación de aguas residuales

El agua residual es aquella que ha sido utilizada por comunidades, industrias o actividades domésticas, y que contiene sustancias orgánicas e inorgánicas, ya sea disueltas o en suspensión.

Las aguas residuales se clasifican en:

- a. Aguas residuales domésticas: Son agua de procedencia doméstica como viviendas, comercial e institucional, que contiene desechos fisiológicos y otros componentes provenientes de la actividad humana.
- b. Aguas residuales industriales: Son aguas residuales originadas como consecuencia del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.

- c. Aguas residuales pluviales: Las aguas pluviales provienen de la escorrentía por las lluvias, que escurren por los tejados, calles y suelos que a su vez contiene sólidos suspendidos (vegetales, basura, y otros).
- d. Aguas residuales municipales: Son aguas residuales domésticas. Esta definición puede aplicarse a mezclas de agua residuales domésticas con escorrentía de aguas pluviales o aguas residuales industriales, si estas cumplen con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

2.2.4. Componentes del sistema recolección de alcantarillado Sanitario

Los componentes considerados para que un sistema de alcantarillado sea eficiente y cumpla sus funciones serán los siguientes:

2.2.4.1. Redes de recolección

Las redes de recolección están formadas por tuberías que tienen cámaras de registro denominados buzones, que sirven para realizar el mantenimiento destinados a coleccionar y transportar las aguas residuales a un sitio final. El sistema de recolección normalmente funciona por gravedad, sin embargo, en zonas bajas se emplean estaciones de bombeo para elevar las aguas residuales.

Este trabajo tiene como objetivo principal el mejoramiento de la red colectora abarcando los buzones y el conjunto de tuberías que empalman entre sí.

2.2.4.2. Conexiones Domiciliarias

Las conexiones domiciliarias son un conjunto de elementos y accesorios desde la red de distribución de la red de alcantarillado hasta la entrada a la vivienda o lugar público, cuyo objeto es recoger las aguas residuales de cada solar, vivienda o lugar público.

Las conexiones domiciliarias de desagüe tendrán una pendiente mínima uniforme entre la caja de registro y el empalme al colector del servicio de 10°.

Las conexiones domiciliarias cuentan con los siguientes elementos:

- Cajas de registro con tapa: Instaladas en la vereda y en casos excepcionales instalada en el interior del predio. Es una caja y tapa de cemento tipo HS de

dimensiones definidas en la norma vigente y de acuerdo con la profundidad tal cual se presenta en la tabla 1.

Tabla 1

Profundidad para Caja de Registro

Profundidad	Tipos	Especificación
Hasta 0,90 m	Caja de registro	NTP 334.081
Profundidad	Tipos	Especificación
Mayor a 0,90 m y menor a 1,20 m	Buzoneta	CTPS-ET-008
Mayor o igual a 1,20m	Buzón Tipo I	CTPS-ET-008

Nota: Se presenta la profundidad para cajas de registro según Especificaciones Técnicas de SEDAPAL.

- Tubería de descarga: Comprende desde la caja de registro hasta el empalme al colector de servicio. Las conexiones domésticas cuentan con diámetro de tuberías, Convencional con un DN 160 mm, Condominal con un DN de 110 mm y para mayores diámetros tendrá que ser sustentada.
- Elemento de empalme: Los empalmes de conexión domiciliaria se hará en clave al tubo colector, obteniéndose una descarga con caída libre, el material considerado para estos empalmes será de HDPE o PVC.

2.2.4.3. Colector

Es una tubería que evacua las aguas residuales de las descargas domiciliarias, para las redes de alcantarillado. Puede ser de material PVC o HDPE de acuerdo con la NTP ISO 21138:2010 y que según norma la tubería de alcantarillado es de color en tono marrón anaranjado.

Los colectores para las conexiones de alcantarillado de PVC, presentan el empalme de Unión Flexible (UF) es eficiente y seguro, pues utiliza un anillo de caucho especial anticorrosivo, y las ventajas que ofrece el PVC con este tipo de empalme es:

- Resistente a la corrosión, de fluidos ya sean ácidos o alcalinos que con frecuencia se encuentran en los sistemas de alcantarillado, así como también gases o ácidos generados por el ciclo del ácido sulfhídrico, detergentes, productos de limpieza, líquidos corrosivos industriales, etc. Así mismo es ideal para instalaciones en suelos agresivos.
- La durabilidad de este material es ilimitada, lo cual hace que se reduzcan los costos de reparación y mantenimiento en el sistema.
- La liviandad, hace que el manejo, colocación, instalación y transporte se reduzca en menores costos.
- Las paredes lisas y libres de porosidad, impiden la formación de incrustaciones, proporcionando una mayor vida útil y eficiencia.
- Bajo coeficiente de rugosidad, lo cual permite mayores tasas de flujo y reduce la pendiente con lo cual disminuye el costo de movimiento de tierras.
- Mínimo riesgos de hacer un acople defectuoso, la unión UF permite un amplio grado de movimiento axial para acomodarse a cambios de longitud en instalaciones enterradas. Cada empalme se comporta como una junta de dilatación.
- Hermético, impide filtraciones, y hace que la disponibilidad de trabajo sea inmediata, pues al no utilizar pegamento, no se da tiempo de espera para el secado y se procede inmediatamente a la prueba hidráulica. También se puede trabajar bajo lluvia y en zanjas inundadas.
- Flexible, pues permite absorber asentamientos diferenciales generados por mala compactación, suelos inestables, por condiciones de tráfico o sismos.

Para tuberías de HDPE denominado en inglés (High Density Polyethylene) y también conocido como PEAD (Polietileno de Alta Densidad), teniendo grandes ventajas como:

- Instalación rápida, Debido a su bajo peso, se acorta el proceso de transporte, manipulación e instalación. Tampoco requiere maquinaria pesada para moverlo.
- Flexibilidad, Se adaptan a los cambios de orientación y curvas, por lo que no se requieren soportes ni herramientas adicionales para realizarlos. Por otro lado, es más flexible que el polipropileno.
- Resistencia, Soportan cargas verticales transfiriendo la mayor parte de la carga al suelo alrededor de la tubería. Esto se debe a su pared exterior ranurada.

- Vida útil, La tubería de HDPE es resistente a líquidos abrasivos, impactos y otros químicos y tiene una vida útil esperada de 50 años.
- Seguridad, No se utilizan juntas, ya que la soldadura se realiza por soldadura por fusión, la seguridad de la instalación es total.
- Eficiencia, Gracias al interior liso, facilitan el flujo de líquidos frente a las tuberías fabricadas con otros materiales. Además, no se formarán depósitos ni costras en su interior.

La rugosidad para cada material se presenta en la tabla 2:

Tabla 2

Coefficiente de Manning en Algunos Materiales

Material	Coefficiente de rugosidad “n”	Fuente
PVC	0,010	ACPA, 2014
HDPE	0,010	ACPA, 2014
Fe Fdo	0,012	Utilian, 2023
Asbesto Cemento	0,012	SWMM5 Appendix A, 2016
Concreto	0,013	ACPA, 2014

Nota. Los valores fueron tomados de la *American Concrete Pipe Association (ACPA, 2014)* y complementados con rangos presentados por *SWMM5 Appendix A (2016)* y *Utilian (2023)*, para condiciones de tuberías nuevas o en buen estado. El valor n corresponde al coeficiente de rugosidad de Manning, utilizado en el modelamiento hidráulico de sistemas de alcantarillado.

2.2.4.4. Cámara de inspección

Son estructuras que se ubican en el sistema de alcantarillado para facilitar la limpieza y mantenimiento de las redes, evitando que se obstruyan debido a la acumulación excesiva de sedimentos. Estas cámaras se ubicarán en los siguientes casos:

- En el inicio de todo colector.
- En todos los empalmes de los colectores.
- Cuando hay cambio de dirección y pendiente.
- En los cambios de diámetro.
- En los cambios de material de las tuberías.

- En los puntos donde se diseñan caídas en los colectores.
- En todo lugar que sea necesario por razones de inspección y limpieza

Las cámaras pueden ser de dos tipos:

- a. Buzonetas o Cajas de Inspección: Estas se emplean en vías peatonales o calles angostas hasta 3,00 metros de ancho, donde el colector se encuentra a una profundidad menor de 1,20 metro sobre la clave del tubo, solo se proyectarán para colectores de hasta 200 mm de diámetro. El diámetro de las buzonetas será de 0,60 m. Los marcos y tapas serán los mismos que se instalan en los buzones.
- b. Buzones: Estos se deberán emplear cuando la profundidad sea tal que permita recubrimiento mínimo de 1,00 m sobre la clave del tubo. El diámetro interior de los buzones será de 1,20 m para tuberías de hasta de 800 mm y de 1,50 m para tuberías de hasta 1200 mm de diámetro. Los techos de los buzones contarán con una tapa de acceso de 0,60 m de diámetro.

La longitud máxima de separación entre buzones será de acuerdo con lo indicado en la tabla 3.

Tabla 3

Distancia Máxima entre Buzones

Diámetro Nominal De Tubería (mm)	Distancia máxima (m)
100 -150	60
200	80
250 a 300	100
diámetros mayores	150

Nota: Tomado del Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma OS.070 Redes de Aguas Residuales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

Los buzones pueden ser prefabricados o contruidos en obra. En el fondo se proyectarán canaletas en la dirección del flujo.

2.2.4.5. Tratamiento

El propósito del tratamiento de aguas residuales es mejorar las condiciones ambientales y sanitarias, reduciendo el impacto ambiental en el entorno del área de influencia de la

planta de tratamiento. El proyecto busca mejorar el colector de la zona de estudio, el cual transporta las aguas residuales que se descargan en la planta de tratamiento de Aguas Residuales de Magollo.

2.2.5. Período de diseño

Se denomina periodo de diseño al tiempo durante el cual un colector de desagüe o sistema de alcantarillado mantiene un funcionamiento eficiente, cubriendo la demanda proyectada de aguas residuales y asegurando un servicio seguro y confiable. En el caso del colector de la Avenida Celestino Vargas, Distrito de Pocollay, este horizonte se establece considerando la vida útil de las estructuras y buscando optimizar los costos de inversión, operación y mantenimiento, garantizando al mismo tiempo eficiencia hidráulica, durabilidad y sostenibilidad económica a través del modelamiento hidráulico con SewerCAD.

Para el periodo de diseño en los diferentes sistemas, se presenta la siguiente tabla 4.

Tabla 4

Periodo Óptimo de Diseño

Sistema /Componente	Periodo (años)
Redes del sistema de agua potable y alcantarillado	20
Reservorios, Plantas de tratamiento	10 y 20
Sistema a gravedad	20
Sistema de Bombeo	10
UBS (Unidad Básica de Saneamiento) de material noble	10
UBS (Unidad Básica de Saneamiento) de otro material	5

Nota: Tomado de la Guía de orientación para elaboración de Expedientes Técnicos de Proyectos de Saneamiento 2016.

2.2.6. Población de diseño

La población de diseño está compuesta por:

- Población inicial P_0 , es la población existente al inicio de la elaboración de los diseños de ingeniería. Se resalta que entre la población actual de diseño y la

población de diseño existe una diferencia importante, debido a que la zona del proyecto tiene un área de influencia definida que comprende un sector de los distritos de Pocollay, Calana y Pachía.

- b. Población final P_f , es la población que va a influir para el sistema de alcantarillado al final del periodo de diseño del proyecto (20 años).

2.2.6.1. Métodos de Cálculo para la Población

Uno de los factores más importantes en un proyecto de saneamiento viene a ser el número de personas beneficiadas, es decir, la población. La población futura se determina realizando proyecciones estadísticas.

La población actual se determina en base a los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), tomando en cuenta los últimos dos censos disponibles para el proyecto hasta el año de realización de los estudios y proyectos.

En el cálculo de la población intervienen factores variados tales como:

- a. Crecimiento histórico.
- b. Variación de las tasas de crecimiento.
- c. Características migratorias.

2.2.6.2. Metodologías de Cálculo

Cada vez más con propósito de planeamiento económico, social, político y comercial, usuarios de los diferentes sectores demandan conocer la población futura por edad y sexo con la finalidad de determinar la capacidad potencial de consumidores, de mano de obra, de población estudiantil, etc. Cuando los encargados de proyectar la población inician su trabajo, se enfrentan al dilema de cuál metodología se debe utilizar. Por tal motivo en este trabajo se examinarán algunas de las metodologías utilizadas con mayor frecuencia para llevar a cabo proyecciones de población a nivel nacional.

Los métodos matemáticos que se aplican en el cálculo de la población futura del país, se basan en ecuaciones que expresan el crecimiento demográfico en función del tiempo.

a. Método Lineal (Aritmético)

El uso de este método para proyectar la población tiene ciertas implicancias. Desde el punto de vista analítico implica incrementos absolutos constantes lo que demográficamente no se cumple ya que por lo general las poblaciones no aumentan numéricamente sus efectivos en la misma magnitud a lo largo del tiempo. Por lo cual, la ecuación 1, permite calcular la población final en base a la tasa de crecimiento poblacional.

$$P_f = P_o(1 + r \cdot t) \quad (1)$$

Donde:

- Po: Población inicial.
- Pf: Población final.
- r: tasa de crecimiento poblacional.
- t: Tiempo en años (diferencia entre Po y Pf)

Observación: El método lineal supone un crecimiento constante de la población, lo cual significa que la población aumenta o disminuye en el mismo número de personas.

b. Método Geométrico o Exponencial

Un crecimiento de la población en forma geométrica o exponencial supone que la población crece a una tasa constante, lo que significa que aumenta proporcionalmente lo mismo en cada periodo de tiempo, pero en número absoluto, las personas aumentan en forma creciente. El crecimiento geométrico se describe a partir de la siguiente ecuación 2.

$$P_f = P_0(1 + r)^t \quad (2)$$

Donde:

- Po: Población inicial.
- Pf: Población final.
- t: Tiempo en años (diferencia entre P0 y Pf)

- r : tasa de crecimiento observado en el periodo, puede medir a partir de una tasa promedio anual de crecimiento constante del periodo; y cuya aproximación aritmética es la presentada en la ecuación 3.

$$r = \left(\frac{P_t}{P_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \quad (3)$$

Donde:

- $1/t$: Tiempo intercensal invertido.

A continuación, se presenta la ecuación 4 que expresa el crecimiento exponencial.

$$P_f = N_0 \cdot e^{r \cdot t} \quad (4)$$

Donde “ r ” es la tasa de crecimiento instantánea y su cálculo es representado mediante la ecuación 5

$$r = \frac{\text{Log} \left[\frac{P_f}{P_0} \right]}{t(\text{log } e)} \quad (5)$$

Donde:

- P_0 y P_f : Población al inicio y al final del periodo respectivamente.
- t : Tiempo en años.
- $\log e$: 0,434294

La diferencia conceptual entre estas dos curvas es que en el primero (crecimiento geométrico) el tiempo se toma como una variable discreta, mientras que en el segundo (crecimiento exponencial) es una variable continua y en tal sentido la tasa de crecimiento diferirá en los dos modelos; en el primero estaría midiendo la tasa de crecimiento entre puntos en el tiempo que estarían igualmente espaciados y en el segundo medirá la tasa instantánea de crecimiento. Sin embargo, en la medida en que el periodo de tiempo considerado se haga más pequeño, las dos ecuaciones serán más

parecidas hasta el punto de que la ecuación geométrica tiende a la exponencial, cuando el periodo de tiempo tiende a cero.

Observación: a medida que el tiempo se aleja, la curva exponencial, supone un crecimiento más rápido de la población, comparando con los otros modelos, pero a periodos cortos, la geométrica puede superar a la exponencial en cuanto a la tasa de crecimiento, ésta va incrementándose con el tiempo.

c. Método Parabólico

En los casos en que se dispone de estimaciones de la población referidas a tres o más fechas pasadas y la tendencia observada no responde a una línea recta, ni a una curva geométrica o exponencial, es factible el empleo de una función polinómica, siendo las más utilizadas las de segundo o tercer grado.

Una parábola de segundo grado se puede calcular a partir de los resultados de tres estimaciones. Este tipo de curva no solo es sensible al ritmo de crecimiento, sino también al aumento o disminución de la velocidad de ese ritmo.

La ecuación 6 es la fórmula general de las funciones polinómicas de segundo grado:

$$P_t = A(\Delta T)^2 + B(\Delta T) + C \quad (6)$$

Donde.

- ΔT : es el intervalo cronológico en años, medido desde fecha de la primera estimación.
- P_t : Es el volumen poblacional estimado t años después de la fecha inicial.
- A, B, C: Son constantes que pueden calcularse resolviendo la ecuación para cada una de las tres fechas censales o de estimaciones pasadas.

Al igual que en la aplicación de la curva aritmética o geométrica, el empleo de una curva parabólica puede traer problemas, se extrapola la población por un periodo de tiempo muy largo, pues, los puntos llegan a moverse cada vez con mayor rapidez, ya sea en un sentido ascendente o descendente.

2.2.7. Caudales de Diseño

Para la estimación de caudales de contribución al sistema de alcantarillado, se debe tener en cuenta la NORMA OS.100 Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria del RNE, determina los siguientes factores para el caudal de diseño (Q diseño):

2.2.7.1. Coeficiente de Retorno de Agua / Alcantarillado (C)

La cantidad de aguas residuales generada por una comunidad es menor a la cantidad de agua potable que se le suministra, debido a que existen pérdidas (riego de jardines, animales, limpieza de viviendas y otros usos externos). El porcentaje de agua distribuida que se pierde y no ingresa a las redes de alcantarillado depende de diversos factores entre los cuales están: los hábitos y valores de la población, las características de la comunidad, la dotación de agua y las variaciones del consumo según las condiciones climáticas de las ciudades. Es recomendable estimar este factor en base a información y estudios locales, sin embargo, cuando no puedan ser realizados es recomendable asumir valores entre 0,80 a 0,85.

Se ha adoptado el valor recomendado en la NORMA OS.070 Redes de Aguas Residuales es decir C=0,8 (80% del caudal máximo horario).

2.2.7.2. Caudal de diseño

Los caudales que discurrirán a través de los colectores de alcantarillado para el año 0 y el año 20 del proyecto se calculan de la siguiente manera:

- a. Caudal Promedio, se determina mediante la ecuación 7, la cual relaciona la dotación, la población de diseño y el número de segundos por día

$$Q_p = \frac{Dot \times Pd}{86400} \quad (7)$$

Donde:

- Qp: Caudal promedio diario anual en L/s.
- P: Población futura o de diseño (habitantes).

- Dot: Dotación de Consumo promedio de agua, en litros por persona por día.

b. Caudal máximo diario se determina a partir del caudal promedio, afectado por el coeficiente de variación diaria K_1 , tal como se muestra en la ecuación 8.

$$Q_{md} = K_1 \times Q_p \quad (8)$$

Donde:

- K_1 : Máximo anual de la demanda diaria (1,30 según RNE).

c. Caudal máximo horario se calcula considerando el caudal promedio y el coeficiente de variación horaria K_2 , conforme a la ecuación 9.

$$Q_{mh} = Q_p \times K_2 \quad (9)$$

Donde:

- K_2 : Máximo anual de la demanda horaria (de 1,80 a 2,50 según RNE).

d. Caudal de diseño del sistema de alcantarillado se obtiene a partir del caudal máximo horario de abastecimiento, afectado por un coeficiente de retorno, tal como se muestra en la ecuación 10:

$$Q_{alc} = Q_{mh} \times C \quad (10)$$

Donde:

- Q_{alc} : Caudal de diseño.
- Q_{mh} : Caudal máximo horario.
- C : Coeficiente de retorno.

2.2.8. Referencias del programa

El trabajo de investigación se propone realizar el diseño de alcantarillado mediante el uso del programa SEWERCAD para que se reduzca el tiempo de diseño, se planifique de manera inteligente, se modele operaciones del sistema de agua con precisión, se tome decisiones confiables y se mejore la productividad de las redes con modelos hidráulicos integrados con CAD.

2.2.9. SewerCAD

SewerCAD es un programa de diseño y modelado de redes de alcantarillado sanitario que empresas de ingeniería, servicios públicos y municipios en todo el mundo utilizan para diseñar, analizar y planificar sistemas de saneamiento. SewerCAD es propiedad de la empresa Bentley y aprovecha las ventajas de CONNECT que permite que todos los miembros del equipo puedan acceder al modelo y compartirlo fácilmente.

El innovador programa SewerCAD puede utilizarse de manera autónoma o desde MicroStation y mediante la opción de integración adicional que permite modelar también desde AutoCAD y así crear, dibujar y trazar modelos con total precisión en un entorno de trabajo que resulta familiar. Este programa tiene un potente algoritmo de flujo gradualmente variado que permite resolver condiciones subcríticas, críticas y supercríticas.

Por otro lado, el programa cuenta con un módulo de asignación de carga llamado LoadBuilder que calcula e importa automáticamente las cargas sanitarias de los modelos de alcantarillado a partir de diversas fuentes de GIS. Asimismo, el programa cuenta con funciones de diseño basadas en restricciones como velocidades, pendientes, profundidad de buzones y diferencias de cotas en las entregas de las estructuras. De este modo, se determina automáticamente los diámetros y profundidades más rentables de las estructuras evitando así sobrecostos de excavación de zanjas y cumpliendo a la vez con las limitaciones de diseño.

Con SewerCAD se toman las decisiones adecuadas, ya que se cuenta con un centro de gestión de escenarios que configura, ejecuta, evalúa, organiza, visualiza y compara un número ilimitado de posibles escenarios en un mismo archivo. Por lo tanto, al comparar y analizar los escenarios ilimitados se puede adoptar mejores decisiones.

2.2.10. Modelamiento Hidráulico de Redes de Alcantarillado

El modelamiento hidráulico es una herramienta que permite representar de manera virtual el comportamiento de los flujos dentro de una red de alcantarillado. Permite evaluar condiciones actuales, simular escenarios futuros y analizar la eficacia de propuestas de mejora. Se basa en principios de la hidráulica de canales cerrados, aplicando ecuaciones de continuidad y energía, usualmente bajo régimen no permanente o flujo en lámina libre.

2.2.11. SewerCAD como Herramienta de Modelamiento

SewerCAD es un software especializado para el diseño y análisis hidráulico de redes de alcantarillado sanitario. Permite simular el comportamiento de flujos en sistemas de gravedad y bombeo, calcular perfiles hidráulicos, identificar puntos críticos y optimizar redes existentes. Entre sus ventajas destacan su interfaz gráfica intuitiva, compatibilidad con SIG, y sus herramientas de validación hidráulica. En el presente estudio, se utiliza SERWERCAD para diagnosticar la situación actual del colector y proponer un rediseño eficiente.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Área contributiva sanitaria.

Área poblacional cuyos aportes domésticos, comerciales o institucionales descargan al colector evaluado. Su delimitación permite estimar la población servida y el caudal generado.

2.3.2. Caudal de diseño.

Caudal máximo que debe ser conducido por el colector, obtenido a partir del caudal medio, el coeficiente de variación de máxima hora y, cuando corresponde, la infiltración, conforme a los criterios establecidos en la Norma OS.070 Redes de Aguas Residuales (MVCS, 2009).

2.3.3. Caudal medio.

Caudal generado bajo condiciones normales de uso, calculado en función de la dotación de agua, el coeficiente de retorno y la población servida (MVCS, 2009).

2.3.4. Caudal máximo horario.

Caudal determinado mediante la aplicación del coeficiente de máxima hora sobre el caudal medio, utilizado para verificar la capacidad hidráulica del colector (MVCS, 2009).

2.3.5. Coeficiente de retorno.

Porcentaje del agua potable consumida que retorna al sistema de alcantarillado sanitario como agua residual doméstica.

2.3.6. Coeficiente de rugosidad (n de Manning).

Parámetro que representa la resistencia interna al flujo dentro de una tubería. Depende del material y del estado de la superficie interior, influyendo directamente en la capacidad de conducción (Chow, 1959).

2.3.7. Colector de desagüe.

Conducto principal del sistema de alcantarillado sanitario encargado de transportar las aguas residuales hacia un colector troncal o punto de descarga mayor, según lo definido en la Norma OS.070 (MVCS, 2009).

2.3.8. Diámetro hidráulico.

Dimensión interna efectiva de la tubería que determina la capacidad para transportar el caudal proyectado bajo condiciones específicas de pendiente y rugosidad.

2.3.9. Dotación de agua.

Consumo promedio diario de agua potable por habitante, utilizado para estimar la generación de aguas residuales, conforme a los valores establecidos en la normativa sanitaria (MVCS, 2009).

2.3.10. Infiltración y exfiltración.

Ingreso de agua subterránea al sistema de alcantarillado (infiltración) o fuga del flujo hacia el terreno (exfiltración), generadas por defectos estructurales o juntas deterioradas (Metcalf y Eddy, 2014).

2.3.11. Material de las tuberías.

Propiedad constructiva que influye en la rugosidad, durabilidad, capacidad estructural y vida útil del colector. Los materiales más empleados incluyen PVC, concreto reforzado y polietileno de alta densidad (HDPE).

2.3.12. Modelamiento hidráulico.

Proceso de simulación del comportamiento del flujo en una red de alcantarillado mediante software especializado, como SewerCAD, que permite analizar capacidad, deficiencias y alternativas de mejora (Bentley Systems, 2023).

2.3.13. Pendiente mínima.

Inclinación mínima requerida para garantizar velocidades adecuadas y evitar sedimentación, establecida según el diámetro y material de la tubería, conforme a la Norma OS.070 (MVCS, 2009).

2.3.14. Velocidad mínima de arrastre.

Velocidad mínima del flujo necesaria para evitar la deposición de sólidos dentro de la tubería; en redes sanitarias se adopta un valor igual o mayor a 0,60 m/s para asegurar la autolimpieza (MVCS, 2009).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

El diseño adoptado es no experimental, puesto que su objetivo principal es realizar una propuesta de mejora del colector de desagüe, que constituye la variable central de estudio. En los diseños no experimentales, los objetos, situaciones, instituciones o individuos se analizan en su contexto natural, sin manipular deliberadamente las variables ni las condiciones del entorno. Se observan los fenómenos tal como ocurren para posteriormente analizarlos e interpretar los resultados (Chávez, 2007, p. 136).

El propósito de esta investigación es optimizar la red de alcantarillado y definir los factores de diseño del colector de desagüe de la Avenida Celestino Vargas, con el fin de proponer una solución que mejore el sistema existente mediante modelamiento hidráulico con SewerCAD.

3.2. Acciones y actividades

3.2.1. Recopilación de información existente

Para el correcto desarrollo del trabajo de investigación, se realizó la recopilación de información existente, esta información comprende el número total de habitantes y viviendas cuyas descargas domiciliarias y conexiones sanitarias desembocan en el colector principal de la Avenida Celestino Vargas, así como datos de crecimiento poblacional proyectado.

3.2.2. Inspección de buzones

Se inspeccionaron los buzones existentes ubicados a lo largo del colector de la Avenida Celestino Vargas, con el propósito de evaluar su estado estructural y operativo. Esta inspección permitió identificar posibles deterioros, obstrucciones, acumulación de sedimentos, deformaciones en los tramos del conducto y condiciones de accesibilidad. La información obtenida resultó fundamental para definir los criterios de diagnóstico hidráulico, establecer las condiciones reales del sistema y asegurar que el desarrollo del modelamiento hidráulico se base en datos confiables y representativos de la situación actual.

3.2.3. Solicitud y obtención de Base Gráfica de Red de Alcantarillado

Con el objetivo de contar con información precisa para el modelamiento hidráulico, se llevó a cabo la gestión de la base catastral de la red de desagüe correspondiente a la Avenida Celestino Vargas, solicitándola formalmente a la Empresa Prestadora de Servicios (EPS). Esta base incluyó la cartografía georreferenciada de los colectores, la ubicación de los buzones, elevación y fondo, conexiones domiciliarias, así como diámetros, pendientes y demás características técnicas registradas, los cuales se presentan en la tabla 5.

El procedimiento contempló la presentación del requerimiento escrito dirigido a la División de Estudios y Proyectos de la EPS, indicando el propósito académico. Tras su aprobación, se recibieron los archivos digitales en formatos CAD o GIS, los cuales fueron posteriormente revisados, organizados y preparados para su incorporación al entorno de modelamiento en SewerCAD.

Tabla 5

Datos de Base Gráfica de la Avenida Celestino Vargas

N° Bz	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Fondo Bz (m)	Altura (m)
Bz-1	372023,201	8011016,987	713,67	711,91	1,76
Bz-2	372020,615	8011016,409	713,58	711,58	2,00
Bz-3	371913,566	8010934,268	709,56	708,20	1,36
Bz-4	371850,646	8010885,753	707,04	705,44	1,60
Bz-5	371831,568	8010871,497	706,34	704,39	1,95
Bz-6	371836,291	8010853,523	706,44	704,74	1,70
Bz-7	371787,831	8010921,926	706,28	705,18	1,10
Bz-8	371787,041	8010837,063	704,57	702,77	1,80
Bz-9	371660,234	8010739,778	700,10	698,50	1,60
Bz-10	371453,881	8010581,352	693,65	692,05	1,60
Bz-11	371391,142	8010531,028	693,12	691,32	1,80
Bz-12	371261,748	8010476,585	692,82	691,22	1,60
Bz-13	371298,812	8010442,642	692,19	689,79	2,40
Bz-14	371221,399	8010358,811	689,95	687,85	2,10

(continúa)

Tabla 5 (continuación)

N° Bz	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Fondo Bz (m)	Altura (m)
Bz-15	371168,732	8010300,849	687,93	685,40	2,53
Bz-16	371134,946	8010263,631	686,64	684,54	2,10
Bz-17	371089,639	8010199,716	683,89	682,39	1,50
Bz-18	371044,787	8010149,761	681,29	679,91	1,38
Bz-19	372166,354	8011126,987	719,00	713,75	5,25
Bz-20	370997,1283	8010104,579	678,73	677,54	1,19
Bz-21	370948,9738	8010060,757	676,02	674,59	1,43
Bz-22	370952,682	8010038,608	675,73	674,36	1,37
Bz-23	370901,114	8010023,008	673,37	671,77	1,60
Bz-24	370900,966	8009991,644	672,79	671,21	1,58
Bz-25	370841,038	8009947,589	669,95	668,19	1,76
Bz-26	370818,398	8009958,199	668,68	666,85	1,83
Bz-27	370780,853	8009906,415	667,04	665,19	1,85
Bz-28	370713,886	8009861,326	664,33	661,98	2,35
Bz-29	370697,2081	8009873,187	663,80	661,98	1,82
Bz-30	370665,99	8009828,298	662,52	659,96	2,56
Bz-31	370655,4107	8009844,459	662,51	660,68	1,83
Bz-32	370618,067	8009795,707	660,83	657,83	3,00
Bz-33	370606,8443	8009811,539	660,95	659,09	1,86
Bz-34	370564,829	8009783,137	659,35	657,52	1,83
Bz-35	370518,0969	8009750,785	657,31	655,49	1,82
Bz-36	370547,653	8009748,027	658,49	656,06	2,43
Bz-37	370495,1731	8009736,272	656,34	654,10	2,24
Bz-38	370516,307	8009726,849	657,25	654,88	2,37
Bz-39	370435,8568	8009697,765	654,59	652,19	2,40
Bz-40	370436,016	8009672,008	654,37	651,75	2,62
Bz-41	370358,08	8009619,352	651,96	649,13	2,83
Bz-42	370284,361	8009567,934	649,88	647,11	2,77
Bz-43	370254,468	8009541,420	648,66	646,23	2,43

(continúa)

Tabla 5 (continuación)

N° Bz	Este (m)	Norte (m)	Elevación (m)	Fondo Bz (m)	Altura (m)
Bz-44	370273,854	8009556,673	649,58	646,80	2,78
Bz-45	371331,225	8010478,843	692,83	690,47	2,36
Bz-46	370911,663	8010004,131	673,55	673,26	0,29
Bz-47	370477,111	8009700,523	655,84	655,20	0,64
Bz-48	372118,327	8011090,016	717,31	713,11	4,20
Bz-49	372070,739	8011053,526	715,47	712,47	3,00

Nota: La información fue extraída de la CARTA N°615-2025/300.600/EPS TACNA S.A. con asunto "Remito información de la Base Gráfica de Red de Alcantarillado".

3.2.4. Modelamiento en software SERWERCAD

Para realizar la propuesta de mejoramiento del sistema hidráulico se hará uso del software SERWERCAD como también de la información anteriormente recopilada, este software nos permitirá realizar una simulación del sistema hidráulico y así verificar la propuesta de mejoramiento.

3.3. Materiales e instrumentos

- a. Procesamiento de datos: La información recopilada será procesada en el software SERWERCAD v8i SS5.
- b. Análisis documental: Para el desarrollo del trabajo de investigación se utilizará el RNE OS.070 Redes de Agua residuales.

3.4. Población y muestra de estudio

El alcance de este estudio, al ser de naturaleza aplicada y enfocada en una infraestructura específica, requiere una justificación metodológica para la selección de las unidades de análisis.

3.4.1. Población

La población de estudio está constituida por la totalidad del sistema de alcantarillado sanitario ubicado en la zona de influencia del Distrito de Pocollay, Tacna, cuya administración recae en la EPS Tacna. Esta población incluye la red de colectores, los buzones y las acometidas domiciliarias dentro del área delimitada.

3.4.2. Muestra y justificación metodológica

La muestra seleccionada es la totalidad del Colector Principal de Desagüe de la Avenida Celestino Vargas. En consecuencia, la muestra es equiparable al universo de estudio, lo que hace innecesario el uso de fórmulas estadísticas de muestreo.

La elección de esta muestra se fundamenta en los siguientes criterios de intencionalidad y conveniencia:

- a. Necesidad Técnica: El estudio se centra en este colector particular debido a la evidencia de deficiencias hidráulicas y operacionales (colmatación, baja velocidad) que exigen una intervención urgente de mejoramiento.
- b. Requerimiento del Modelamiento: El objetivo es diseñar una solución integral. Por ello, el modelamiento con SewerCAD debe considerar la totalidad del tramo afectado, incluyendo todos sus nodos (buzones), longitudes y pendientes, para garantizar la precisión del diagnóstico y la viabilidad de la propuesta.

3.5. Operacionalización y definición de variables de investigación

En el presente estudio, la operacionalización de las variables de investigación se centra en la propuesta de mejora del colector de desagüe de la Avenida Celestino Vargas. Cada variable se definirá claramente, estableciendo sus indicadores específicos, unidad de medida y método de recolección de datos, con el propósito de garantizar que los resultados sean medibles, confiables y reproducibles, como se presenta en la tabla 6.

Para su análisis se emplearán técnicas de procesamiento de datos y pruebas estadísticas, permitiendo evaluar objetivamente los factores de diseño hidráulico del colector, identificar deficiencias en su funcionamiento y determinar los parámetros óptimos para su optimización.

La información obtenida servirá de base para sustentar la propuesta de mejora mediante modelamiento hidráulico con SewerCAD, asegurando que las conclusiones sean precisas y útiles para la planificación y optimización del sistema de alcantarillado en el distrito de Pocollay

Tabla 6*Operacionalización de variables de investigación*

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
X. Variable Independiente: Modelamiento Hidráulico con SewerCAD	Proceso de simulación del comportamiento del flujo en una red mediante software especializado para analizar capacidad y deficiencias.	Parámetros de diseño hidráulico.	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de flujo (m/s). • Pendiente (m/m). • Caudal (L/s). 	Razón	Simulación computacional con SewerCAD v8i SS5.
		Criterios de diseño del colector.	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión tractiva (Pa). • Diámetro nominal (mm). • Relación tirante/diámetro (%). 	Razón	Análisis documental del RNE Norma OS.070 y OS.100.
Y. Variable Dependiente: Propuesta de Mejoramiento del Colector de Desagüe	Alternativa técnica basada en el diagnóstico hidráulico para reducir riesgos de colmatación y asegurar la estabilidad operativa.	Clasificación del sistema de alcantarillado.	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de sistema (Convencional / No convencional). 	Nominal	Investigación aplicada y diseño no experimental.
		Componentes de la red de alcantarillado.	<ul style="list-style-type: none"> • Número de buzones y cámaras. • Material de tuberías (PVC / Concreto). 	Nominal	Inspección de buzones y obtención de Base Gráfica de EPS Tacna.
Z. Variable Interviniente: Viabilidad Técnica y Económica	Evaluación de la capacidad del proyecto para ser implementado optimizando recursos y garantizando sostenibilidad.	Optimización de recursos y vida útil.	<ul style="list-style-type: none"> • Costos de mantenimiento. • Periodo de diseño (20 años). 	Razón	Análisis comparativo de desempeño Antes vs. Después.

3.6. Procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Información inicial

a. Ubicación

El área de estudio se encuentra en el distrito de Pocollay, al Noreste de la Ciudad de Tacna, tal como se muestra en la figura 1 y 2 respectivamente (Figura 1 y 2).

Región : Tacna
 Provincia : Tacna
 Distrito : Pocollay

Figura 1

Ubicación del Distrito de Pocollay



Nota: Se presenta el mapa político de la provincia de Tacna, Perú, en el que se identifican los distritos colindantes, resaltando el distrito de Pocollay.

Figura 2

Vista Satelital de la Avenida Celestino Vargas



Nota: Imagen satelital obtenida de Google Earth (2025) y utilizada únicamente con fines académicos.

b. Límites y Áreas aportantes

El área de estudio presenta los siguientes límites:

- Al norte: limita con zonas residenciales del distrito de Pocollay y la Avenida Los Ángeles.
- Al este: limita con el distrito de Calana y la Avenida Vilauta.
- Al sur: limita con sectores urbanos del distrito de Pocollay y la Avenida Jorge Basadre Grohmann.
- Al oeste: limita con el Ovalo de Pocollay y la Avenida Jorge Basadre Grohmann.

c. Situación Actual

Se realizó un recorrido por el área de estudio, siendo una zona urbana del distrito de Pocollay, el colector de desagüe recorre aproximadamente 2468,00 m a lo largo de la avenida Celestino Vargas, iniciando desde el ovalo de Pocollay hasta la Avenida Vilauta.

Actualmente la red colectora presenta algunas deficiencias operacionales en su línea de concreto debido a que ya cumplieron su vida útil. La red de esta avenida cuenta con dos líneas de recolección, las cuales son presentadas en la tabla 7, red colectora existente.

Tabla 7

Red Colectora Existente

Descripción	Material	Diámetro nominal (mm)	Longitud	Total
Celestino Vargas	CSN	200	1758,04	2546,33
	PVC	315	788,29	

Nota: La información presentada en esta tabla proviene de la base gráfica de la red de alcantarillado de la EPS Tacna S.A., remitida mediante la Carta N.º615-2025/300.600/EPS Tacna S.A.

3.6.2. Características de la Población

a. Número de Habitantes

Con la información brindada por el INEI (Instituto Nacional de Estadística Informática) de los censos nacionales de población y vivienda para los años 2017 y 2007, presentado en las tablas 8 y 9 de los distritos de Pachía, Calana y Pcollay, así mismo, de la ciudad de Tacna, por lo cual, se extrajo los datos de las áreas de interés mencionadas:

Tabla 8

Censo Distrital Pachía, Calana y Pocollay

Distrito	Año	P (Hab)
Pachía	2007	1945
	2017	2062
Distrito	Año	P (Hab)
Calana	2007	2625
	2017	2979

Pocollay	2007	17113
	2017	18627

Nota: Reproducción de Resultados Definitivos Censo Nacional (INEI, 2007 y 2017)

Tabla 9

Población y Tasa de Crecimiento de la Ciudad de Tacna

	Año	P (Hab)	Tasa de Crecimiento promedio anual (%)		
			1981-1993	1993-2007	2007-2017
Tacna	1981	143085			
	1993	218353	3,6	2,0	1,3
	2007	288781			
	2017	329332			

Nota: Tabla tomada del Instituto Nacional de Estadística e Informática – Censos Nacionales de Población y Vivienda.

b. Crecimiento Poblacional

De acuerdo con el Censo Estadístico de población brindado por el INEI entre los años 2007 y 2017 se tiene la tasa de crecimiento para los distritos los distritos de Pachia, Calana y Pocollay presentación a continuación mediante la tabla 10.

Tabla 10

Tasa de Crecimiento para los Distritos de Interés

Distrito	Año	P (Hab)	n (años)	Tasa de Crecimiento	
				Tc	Tc (%)
Pachía	2007	1945	10	0,006	0,59
	2017	2062			
Calana	2007	2625	10	0,013	1,27
	2017	2979			
Pocollay	2007	17113	10	0,009	0,85
	2017	18627			

Nota. Los datos de población corresponden a los censos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2007; 2017). La tasa de crecimiento (Tc) fue calculada por el autor empleando la fórmula de Valor Futuro.

Una vez obtenida las tasas de crecimiento de los diferentes distritos de interés, se procedió a calcular la cantidad de población para los años de 2024 (año actual) y 2044, correspondiente a una proyección a 20 años conforme a la normativa vigente.

Entonces se obtiene el cálculo de la cantidad de habitantes para el año 2024:

- Para el distrito de Pachía

$$2062 \times 1,017^7 = 2148 \text{ hab} \quad (11)$$

- Para el distrito de Calana

$$2979 \times 1,013^7 = 3255 \text{ hab} \quad (12)$$

- Para el distrito de Pocollay

Se calculó el caudal aportado por cada lote de vivienda con descarga directa al colector en estudio, considerando una densidad habitacional de 6 habitantes por vivienda. Asimismo, se identificaron diversos establecimientos —como restaurantes, salones de eventos, clubes, entre otros— cuyas ubicaciones y descargas se encuentran conectadas al colector de la avenida Celestino Vargas; sin embargo, debido a limitaciones en la información censal, dichos establecimientos no fueron incluidos en el presente análisis. No obstante, se consideran en el apartado correspondiente al distrito de Pocollay, tal como se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11

Número de Habitantes del Distrito de Pocollay

Ubicación	Lotes	Hab/Lote	habitantes
Buzones entre el ovalo y el Club la Arboleda	8	6	48
	26	6	156
	5	6	30
	13	6	78
	22	6	132
	1	6	6

(continúa)

Tabla 11 (continuación)

Ubicación	Lotes	Hab/Lote	habitantes
Buzones entre el ovalo y el Club la Arboleda	3	6	18
	2	6	12
	6	6	36
	3	6	18
	33	6	198
	22	6	132
	11	6	66
	10	6	60
	11	6	66
	3	6	18
	10	6	60
	10	6	60
	19	6	114
	36	6	216
	18	6	108
	6	6	36
	15	6	90
	7	6	42
	18	6	108
	5	6	30
	10	6	60
	10	6	60
	1	6	6
	5	6	30
	4	6	24
	5	6	1
	19	6	114
	26	6	156
	1	6	6
	2	6	12
	13	6	78
	30	6	180
	1	6	6
	7	6	42
	20	6	120
	19	6	114
	8	6	48

(continúa)

Tabla 11 (continuación)

Ubicación	Lotes	Hab/Lote	habitantes
Buzones entre el ovalo y el Club la Arboleda	56	6	336
	19	6	114
	14	6	84
	20	6	120
	6	6	36
	15	6	90
	10	6	60
Salón de eventos D'Classe	Aforo=	250	250
Restaurante las Parras	Aforo=	80	80
Dirección Regional de Educación Tacna	Aforo=	200	200
Restaurante "Sol y sombra"	Aforo=	140	140
Colegio de ingenieros del Perú	Aforo=	200	200
Rest. Piedra Blanca	Aforo=	300	300
Restaurante "El patroncito"	Aforo=	300	300
"La Tacneñita"	Aforo=		0
"Azul azul"	Aforo=	295	295
Rest. las sureñitas	Aforo=	200	200
Hospital ESSALUD Tacna	Aforo=	947	947
Club "La Arboleda"	Aforo=	1287	1287
Restaurante "Los Arcos"	Aforo=	250	250
Salón de eventos "La Exclusiva"	Aforo=	250	250
Salón de eventos Leblanc	Aforo=	300	300
La fontana salón de eventos	Aforo=	300	300
Fest Restobar	Aforo=	600	600
Población actual			9734

c. Población Total de Diseño

Para el año 2044, el cálculo de la cantidad de habitantes será:

- Para el distrito de Pachía

$$2062 \times 1,006^{25} = 2386 \text{ hab.}$$

- Para el distrito de Calana

$$2979 \times 1,013^{25} = 4087 \text{ hab.}$$

- Para el distrito de Pocollay

$$9734 \times \left(1 + \frac{0,85 * 25}{100}\right) = 12265 \text{ hab.}$$

Para el modelado del distrito de Pocollay se considerará una densidad de 6 habitantes por lote, tal como lo establece la Norma OS.100, determinándose el caudal a partir del número de lotes que descargará a la red proyectada. Asimismo, se incorporan al cálculo los restaurantes, salones de eventos, clubes y otros establecimientos del distrito de Pocollay y Calana, ya que en la estimación de la población futura únicamente se consideraron los datos del censo, quedando fuera del registro la cantidad de personas que asisten a los diferentes lugares mencionados.

3.6.3. Dotación

La dotación constituye un factor clave para calcular el caudal de diseño, ya que indica el consumo promedio de agua por habitante y permite dimensionar de manera adecuada la infraestructura sanitaria. En este proyecto se emplearon valores orientativos de dotación de agua por habitante según la normativa peruana para zonas rurales y urbanas.

- a. Dotación por habitantes

De acuerdo con la normativa, se asigna una dotación de 220 litros por habitante por día (L/hab-día). Este valor asegura cubrir las necesidades de consumo doméstico

básico, incluyendo agua para bebida, preparación de alimentos, aseo personal, limpieza del hogar y pequeñas actividades complementarias.

El caudal promedio por habitante se obtiene con la siguiente ecuación 13:

$$Q_{hab} = \left(\frac{D * P}{86400} \right) \quad (13)$$

Donde:

- Q_{hab} = caudal promedio por habitante (L/s),
- D = dotación de diseño (220 L/hab·día),
- P = población considerada,
- 86400 = número de segundos en un día.

De esta manera, reemplazando la ecuación 14, cada habitante aporta aproximadamente:

$$Q_{hab} = \frac{220}{86400} = 0,00255 \text{ l/s/cdotphab} \quad (14)$$

Este coeficiente se aplica directamente sobre la población actual y proyectada de cada distrito o subárea de interés, constituyendo la base para el cálculo de los caudales de descarga.

b. Dotación por lotes

En el distrito de Pocollay, el cálculo de la población se realizó en función del número de lotes conectados al colector de diseño, como indica la ecuación 15, considerando una densidad normativa de 6 hab/lote (OS.100). Para cada lote se asigna la dotación correspondiente mediante la siguiente relación:

$$Q_{lote} = n_{hab/lote} \times Q_{hab} \quad (15)$$

Donde $n_{hab/lote} = 6$. Así, reemplazando los valores en la ecuación 16, cada lote genera un caudal promedio aproximado de:

$$Q_{lote} = 6 \times 0,00255 = 0,0153 \text{ L/s} \cdot \text{plote} \quad (16)$$

c. Factores de diseño que afectan el sistema.

- Variaciones de Consumo

Según Norma OS.100 indica que se consideraran los siguientes coeficientes:

- Máximo anual de la demanda diaria (k_1): 1,3
- Máximo anual de la demanda horaria (k_2): 1,8 a 2,5

Se utilizo para el presente trabajo los coeficientes de máxima demanda diaria $k_1=1,30$

Se utilizo el coeficiente de la demanda horaria $k_2=2,05$, en referencia a (Silva Charaja, 2018) "Coeficientes reales de variaciones de consumo de agua para obras de saneamiento en la región Tacna" donde se concluye que para la ciudad de Tacna es recomendable el uso de un $k_2=2,05$

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Los hallazgos del modelado hidráulico de la red existente y de la propuesta de mejoramiento, obtenidos con SewerCAD. Se describe el estado actual del colector, se identifican los tramos críticos, se detallan los parámetros de diseño aplicados y se comparan los resultados antes y después de la intervención.

4.1. Estado actual del sistema hidráulico

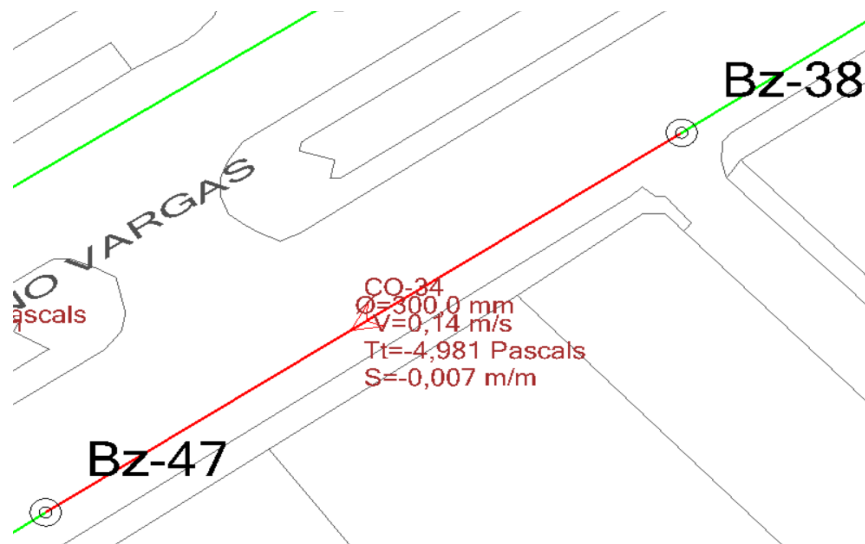
4.1.1. Características principales del colector

El colector principal de la avenida Celestino Vargas (Pocollay, Tacna) está compuesto por tuberías de diámetro variable (200–300 mm), fabricadas en asbesto-cemento y concreto armado. La longitud total modelada es de 2 733,8 m, con pendientes que oscilan entre – 7 % y 12,5 % y un total de 49 buzones distribuidos a lo largo del trazado.

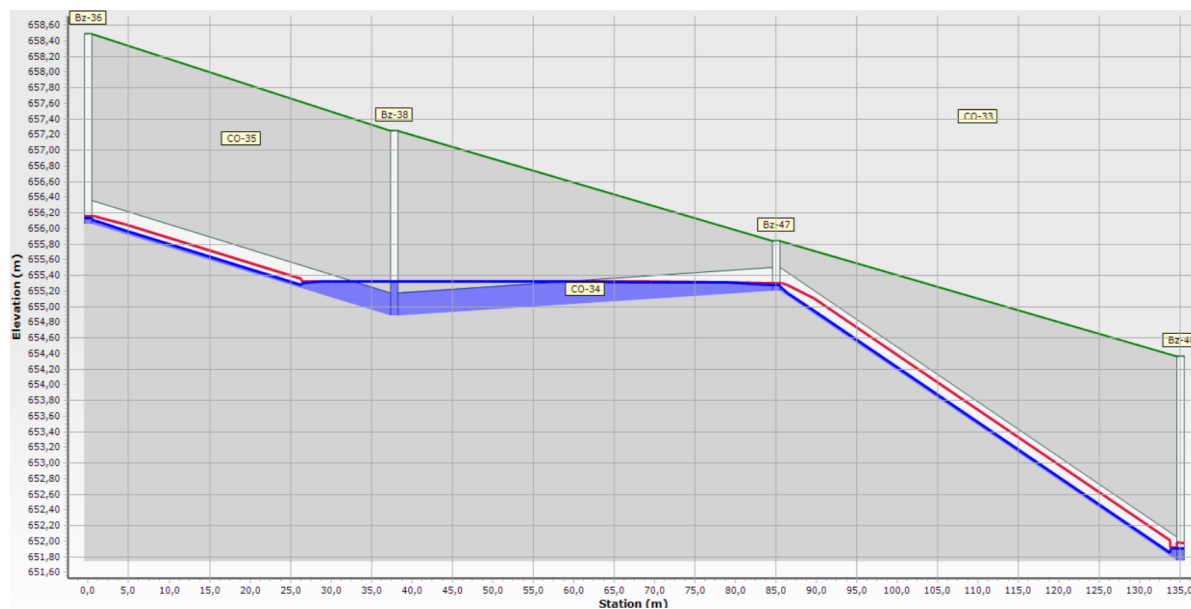
4.1.2. Resultados de simulación hidráulica actual

Bajo las condiciones actuales de caudal y configuración geométrica, la modelación en SewerCAD y cálculo de datos como muestra el Anexo 55, muestra regímenes hidráulicos mixtos, con zonas en flujo subcrítico donde la velocidad media es inferior al mínimo recomendado (0,6 m/s), lo que favorece la sedimentación. Además, se detectaron tramos con pendientes inferiores al estándar mínimo, generando puntos de retención de sólido.

Así mismo, se evidencia en la figura 3 que el tramo entre los buzones 38 y 47 la tensión tractiva presenta un valor de -4,981 Pa, lo cual se encuentra por debajo del valor mínimo 1,0 Pa, según consideraciones de diseño establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma OS.070.

Figura 3*Tensión Tractiva y Pendientes Críticas*

Con respecto al perfil de la zona crítica se evidencia que el tramo comprendido entre los buzones 38 y 47 la altura de la lámina de agua supera el 75% del diámetro de la tubería (300 mm), tal como se demuestra en la figura 4, lo cual contraviene las disposiciones establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma OS.070.

Figura 4*Perfil de Zona Crítica*

4.1.3. Identificación de zonas con colmatación o bajo rendimiento

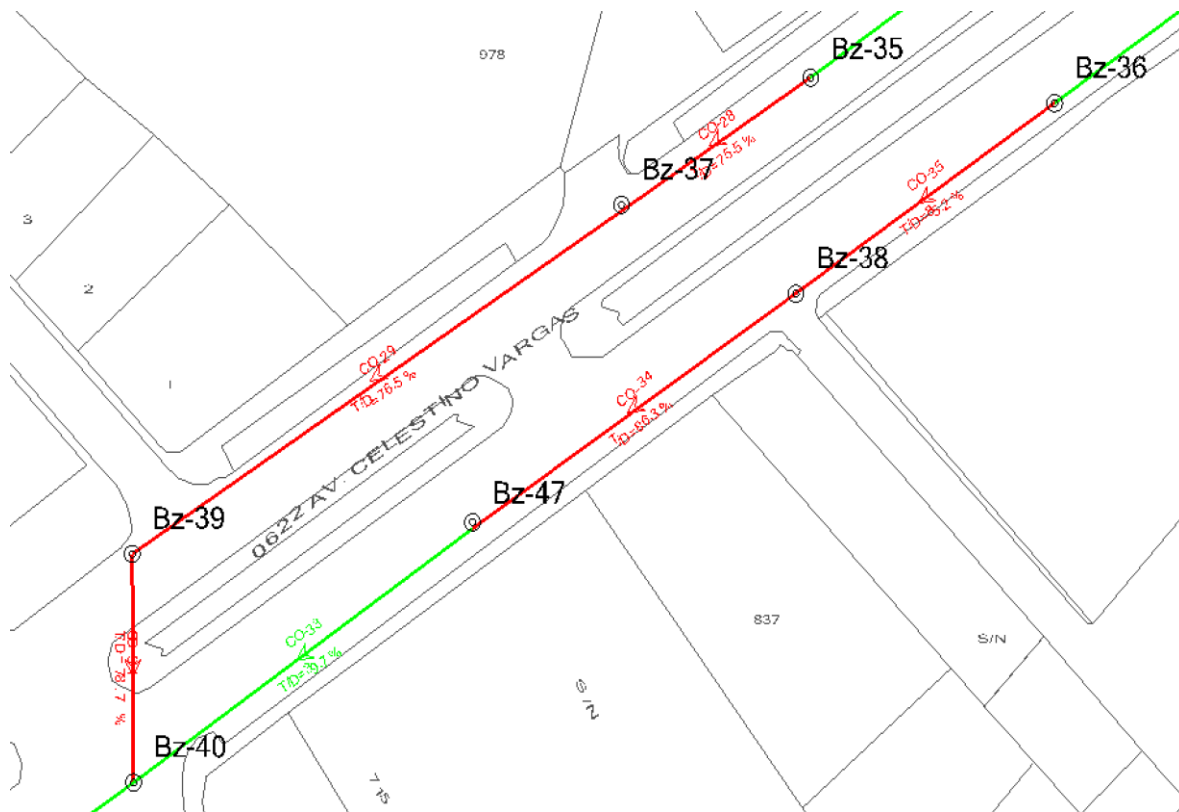
Se identificaron seis tramos con relación tirante/diámetro $> 75\%$, índices de colmatación elevados y velocidades subsónicas ($< 0,6$ m/s):

- Bz-35 → Bz-37 (T/D = 75,5 %)
- Bz-36 → Bz-38 (T/D = 85,2 %)
- Bz-37 → Bz-39 (T/D = 78,5 %)
- Bz-38 → Bz-47 (T/D = 86,3 %)
- Bz-39 → Bz-40 (T/D = 78,7 %)

Por lo que se presenta en la figura 5 una vista en planta de los tramos críticos resaltados en color rojo, los cuales incumplen con la relación tirante/diámetro ($75\% \geq T/D$) que indica el Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma OS.070.

Figura 5

Tramos Críticos



4.1.4. Análisis de pendientes y diámetros actuales

El análisis de las pendientes indicó un tramo que presenta pendiente inferior al mínimo recomendado (1%) para garantizar la autolimpieza del sistema, favoreciendo la deposición de sólidos.

4.1.5. Impacto del mantenimiento y limpieza

Se determinó que el sistema no cuenta con cámaras de inspección, elemento fundamental para la realización de labores de mantenimiento preventivo y correctivo, así como para el monitoreo y control de los fenómenos transitorios en los colectores.

4.1.6. Diagnóstico de deficiencias detectadas

En conjunto, las deficiencias identificadas abarcan pendientes y diámetros inadecuados, además de una tensión tractiva insuficiente. Asimismo, se identificaron tramos con una relación tirante-diámetro superior al 75%, asociada a velocidades de flujo reducidas. A estas condiciones se suman prácticas de mantenimiento ineficientes, consecuencia de la limitada disponibilidad de cámaras de inspección. La interacción de estos factores genera zonas críticas con alta susceptibilidad a la colmatación, comprometiendo la funcionalidad hidráulica y la seguridad operativa del sistema.

4.2. Propuesta de mejora

4.2.1. Descripción técnica de las modificaciones propuestas

4.2.1.1. Agrupación en dos tramos de intervención

a. Tramo I (norte):

Bz-35 → Bz-37 → Bz-39 → Bz-40

b. Tramo II (sur):

Bz-36 → Bz-38 → Bz-47

4.2.1.2. Mejoras aplicadas

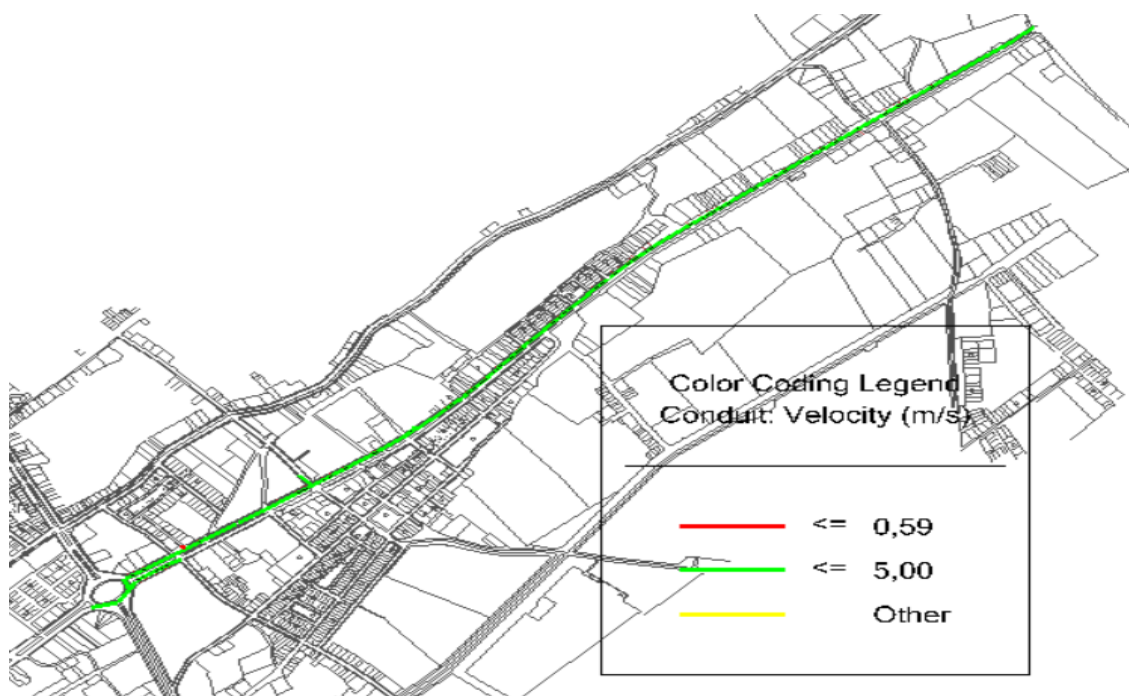
- a. Pendientes: reajuste a 0,003–0,053 m/m (frente a –0,007 y 0,125 existente) para asegurar flujo autosostenido $\geq 0,6$ m/s.
- b. Diámetros: ampliación puntual hasta 375 mm en los segmentos más críticos, eliminando transiciones bruscas.
- c. Rugosidad: cambio a PVC con Manning $n = 0,010$ para reducir pérdidas de carga.

4.2.1.3. Resumen de mejoras en tramos I y II

A continuación, en la figura 6, se observa que todo el tramo se encuentra representado en color verde, lo que representa que la velocidad del flujo es inferior a 5,00m/s, conforme a lo establecido por el Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma Os.070

Figura 6

Trazo que Cumple con Velocidades Admisibles

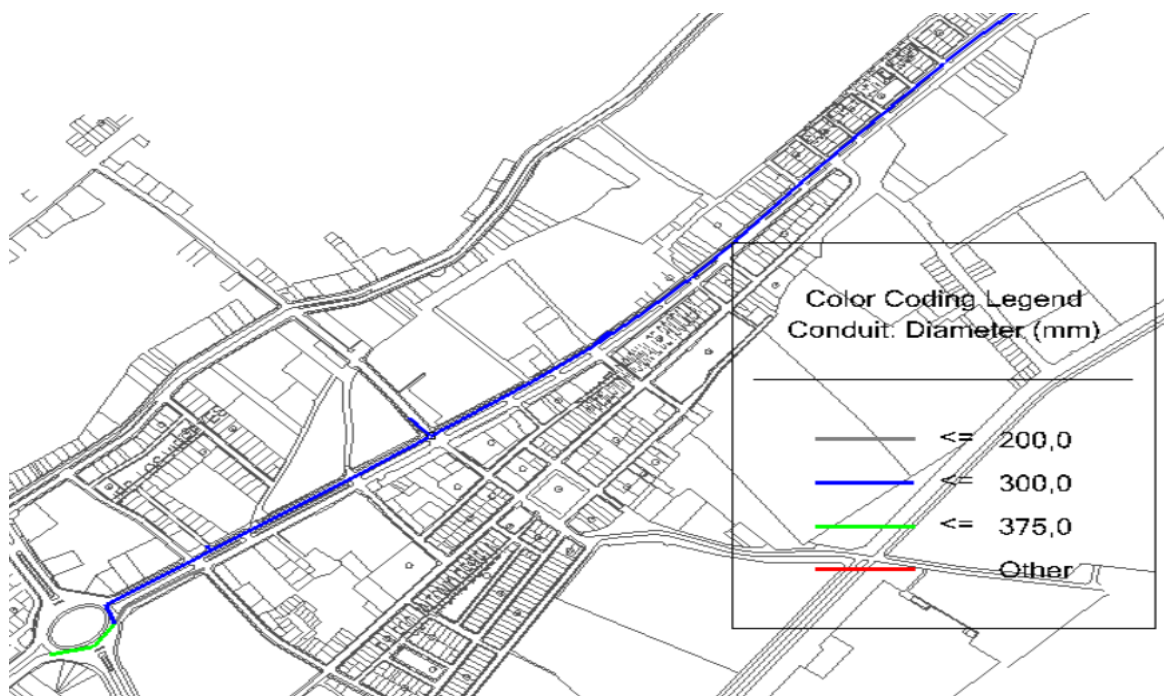


Asimismo, el colector fue homogenizado en función de los caudales de diseño, unificando sus diámetros y eliminando transiciones bruscas que podrían generar zonas de flujo subsuperficial. Como se aprecia en la figura 7, la mayor parte del tramo se representa en color azul, correspondiente a un diámetro de 300 mm, mientras que el segmento

señalado en color verde presenta un diámetro de 375 mm. Ambos diámetros fueron definidos conforme a los criterios establecidos en el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma OS.070.

Figura 7

Diámetros de Colectores



4.2.2. Infraestructura complementaria:

- a. Instalación de buzones estratégicos con trampas de sedimentos en puntos de alta carga sólida.
- b. Implementación de cámaras de inspección adicionales cada 150 m en tramos críticos, con resaltes hidráulicos para control de energía.

4.2.3. Sistema de monitoreo continuo con sensores de nivel y velocidad (IoT) para diagnóstico en tiempo real

El colector principal de esta avenida es una infraestructura clave que canaliza las aguas grises recolectadas en la zona urbana hacia plantas de tratamiento o puntos de disposición. Su operación por gravedad implica:

- a. Trayectorias con pendientes definidas para mantener flujo autosostenido.
- b. Puntos críticos con posible acumulación de sedimentos y grasas debido a uso residencial/comercial.
- c. Cámaras de inspección y registros distribuidos en intervalos determinados, que facilitan la instalación de sensores.
- d. Riesgos asociados a colmataciones, daños estructurales por corrosión o filtraciones que pueden impactar la red y la calidad ambiental.
- e. El Protocolo de mantenimiento predictivo aplicado a Celestino Vargas son presentados en la siguiente tabla 12.

Tabla 12

Parámetros por Monitorear y su Justificación Local

Parámetro	Justificación para Pocollay
Nivel en cámaras	Detectar acumulación o bloqueo aguas abajo, clave en sistema a gravedad para Pocollay, donde limpiezas son costosas.
Velocidad de flujo	Evitar zonas con flujo < 0.6 m/s que generen sedimentación frecuente, crítico en pendientes bajas de la avenida.
Caudal	Control de variaciones horarias o estacionales que afecten operación.
Calidad del agua (turbidez, grasas)	Identificar zonas con mayor carga orgánica para priorizar mantenimiento.
Presión diferencial	Detección de fugas o daños estructurales frecuentes en colectores antiguos.

Nota: La presente tabla detalla algunas consideraciones para el mantenimiento de la propuesta, con el fin de evitar daños o deterioros en el colector de la Avenida Celestino Vargas

Estrategia para implementar

- a. Instalación de sensores ultrasónicos de nivel en las cámaras de inspección principales, priorizando las ubicadas en zonas con historial de obstrucciones o pendientes críticas.

- b. Uso de sensores de velocidad por ultrasonido en tramos abiertos o accesibles para evaluar flujo real.
- c. Sensores de turbidez para monitorear carga orgánica, ayudando a detectar puntos de mayor acumulación de residuos.
- d. Monitoreo remoto a través de red LoRaWAN dada la extensión del colector y limitaciones de infraestructura de comunicaciones en Pocollay.
- e. Implementación de plataforma local o en la nube para centralizar datos, con visualización georreferenciada y alertas en tiempo real.

4.2.4. Beneficios concretos para el colector de la avenida Celestino Vargas

- a. Detección temprana de colmataciones, evitando desbordes o necesidad de limpiezas de emergencia.
- b. Optimización de rutas y frecuencia de mantenimiento, focalizando intervenciones solo donde el sistema predice riesgo.
- c. Reducción de costos operativos y riesgos ambientales por derrames o filtraciones.
- d. Mejora en la gestión y toma de decisiones, facilitando reporte a fiscalizadores y planificación de obras.

4.2.5. Plan operativo trifásico

a. Fase 1: Diagnóstico mediante CCTV y perfilado hidráulico

Objetivo:

Identificar las condiciones reales del sistema de colectores, detectando obstrucciones, daños estructurales, zonas de sedimentación y problemas hidráulicos.

Actividades principales:

- Inspección interna de tuberías con cámaras CCTV (Círculo Cerrado de Televisión) para visualizar el estado físico de las tuberías, juntas, fisuras, raíces, infiltraciones y acumulación de sedimentos.
- Perfilado hidráulico mediante sensores de nivel y velocidad para medir el comportamiento del flujo en diferentes tramos, detectando zonas de baja velocidad, flujo parcial o turbulencias.

- Registro y análisis de datos para identificar tramos críticos que requieren intervención.

Resultados esperados:

Mapa detallado de condiciones físicas e hidráulicas del sistema, con identificación precisa de puntos problemáticos.

b. Fase 2: Acciones correctivas con limpieza hidro cinética

Objetivo:

Eliminar obstrucciones, sedimentos y residuos que afectan el flujo, restaurando la capacidad hidráulica óptima del sistema.

Actividades principales:

- Aplicación de limpieza hidrocínética, que utiliza agua a alta presión para remover sedimentos, raíces y materiales adheridos en las paredes internas de las tuberías.
- Uso de equipos especializados, como camiones vector o hidrojets, para limpieza eficiente y controlada.
- Revisión posterior a la limpieza con CCTV para verificar la efectividad de la intervención.

Resultados esperados:

Recuperación del diámetro hidráulico efectivo de las tuberías, reducción de zonas de sedimentación y mejora en la velocidad y uniformidad del flujo.

c. Fase 3: Mantenimiento preventivo basado en indicadores de performance hidráulica

Objetivo:

Mantener el sistema en condiciones óptimas a largo plazo, evitando la recurrencia de problemas y garantizando su funcionalidad.

Actividades principales:

- Establecimiento de indicadores clave de desempeño hidráulico, como velocidad mínima, nivel de tirante, frecuencia de sedimentación y número de obstrucciones detectadas.
- Implementación de un programa de monitoreo continuo o periódico, utilizando sensores y/o inspecciones regulares para evaluar estos indicadores.
- Programación de mantenimientos preventivos basados en los resultados del monitoreo, anticipando intervenciones antes de que se presenten fallas o colmataciones.
- Capacitación del personal operativo para la correcta interpretación de datos y ejecución de acciones preventivas.

Resultados esperados:

Reducción significativa de fallas, prolongación de la vida útil del sistema y optimización de recursos mediante un mantenimiento planificado y eficiente.

4.2.6. Simulación hidráulica

La simulación del sistema propuesto evidencia un comportamiento hidráulico optimizado, presentando velocidades uniformes dentro del rango óptimo y una tensión tractiva conforme al valor establecido de 1 Pascal. Asimismo, se llevó a cabo un análisis proyectado a 20 años, considerando el crecimiento poblacional, con el objetivo de desarrollar una propuesta técnica sostenible y eficiente a largo plazo.

4.2.7. Comparación de desempeño: Antes vs Después

La comparación entre el modelo hidráulico actual y el propuesto, desarrollado con la herramienta SewerCAD, pone en evidencia mejoras sustanciales en el comportamiento del sistema. En primer lugar, el aumento de la velocidad mínima del flujo, de 0.14 m/s a 0.60 m/s, representa una mejora importante en la capacidad de arrastre, lo cual favorece el transporte eficiente de sólidos y sedimentos a lo largo de la red, reduciendo la posibilidad de acumulaciones y obstrucciones.

Asimismo, la disminución del tirante crítico indica una mejora en la capacidad de conducción de las tuberías, lo que reduce el riesgo de sobrecargas en eventos de mayor

caudal y permite mantener condiciones de flujo más controladas y seguras. Este ajuste contribuye directamente a optimizar la sección hidráulica utilizada, lo que implica una operación más eficiente del sistema.

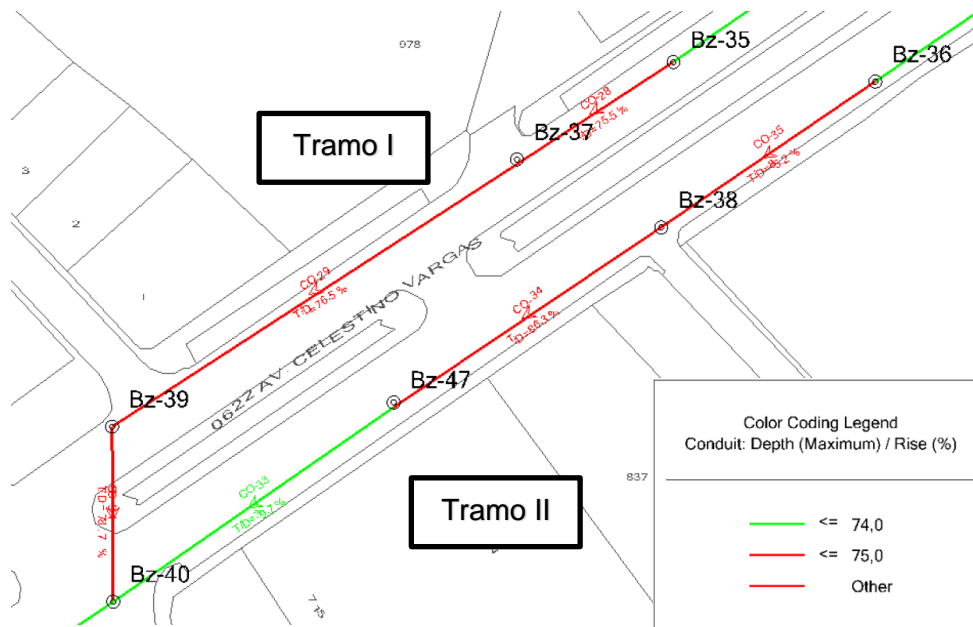
Otro aspecto relevante es la significativa reducción del riesgo de colmatación. Al elevar la velocidad del flujo y disminuir el tirante, se minimiza la formación de depósitos y se mejora el perfil hidráulico de la red. Esto se traduce en una menor necesidad de mantenimiento correctivo y una mayor confiabilidad operativa.

En conjunto, el sistema modificado muestra un comportamiento más estable, eficiente y resiliente ante variaciones en la demanda o condiciones extremas. Estas mejoras fortalecen la sostenibilidad operativa del sistema, prolongan su vida útil y reducen los costos asociados a interrupciones o fallas, lo que valida la implementación del modelo propuesto desde una perspectiva técnica y económica.

Por lo expuesto, a continuación, en la figura 8 se muestran los tramos resaltados en color rojo, los cuales incumplen la relación tirante/diámetro ($T/D \leq 75\%$) establecida por el Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma OS.070.

Figura 8

Situación Inicial de Tramos Críticos de Colmatación



En ese sentido, en la figura 9 se presenta el perfil hidráulico correspondiente al Tramo I del colector existente. La línea azul (HGL) representa el gradiente hidráulico, que indica la energía disponible por presión y altura del flujo, mientras que la línea roja (EGL) muestra la línea de energía total, que incorpora además la energía cinética asociada a la velocidad del agua. Se observa que ambas líneas se mantienen dentro del conducto, evidenciando un régimen de flujo a gravedad estable, sin presencia de presiones internas ni condiciones de sobrecarga. La separación entre la EGL y la HGL es reducida, lo que refleja velocidades moderadas y pérdidas por fricción controladas a lo largo del tramo. No obstante, conforme al Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma OS.070, la altura de agua debe ser igual o inferior al 75% del diámetro del tubo (300 mm). En este caso, la relación tirante/diámetro supera este límite, lo que indica una condición que podría afectar el correcto funcionamiento hidráulico del colector.

Figura 9

Pendiente Crítica I

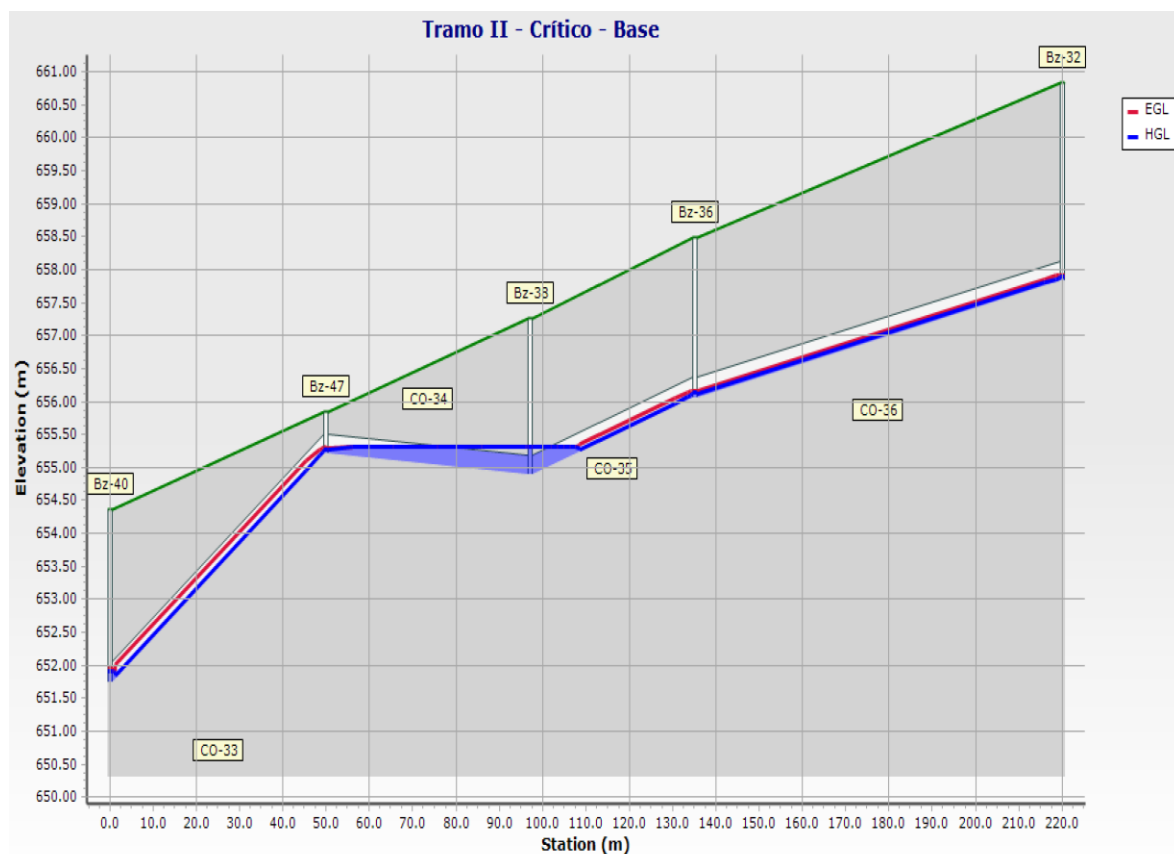


Asimismo, la figura 10 presenta el perfil hidráulico correspondiente al Tramo II del colector existente. La línea azul (HGL) representa el gradiente hidráulico, que indica la

energía disponible por presión y altura del flujo, mientras que la línea roja (EGL) muestra la línea de energía total, incluyendo la energía cinética del flujo. Ambas líneas permanecen dentro de los límites del conducto, indicando un régimen de flujo a gravedad estable sin presiones internas ni sobrecargas. Sin embargo, se observa que en el tramo comprendido entre los buzones 38 y 47, la pendiente hidráulica es muy baja, evidenciada por la casi horizontalidad del perfil de energía. Esta condición puede generar una disminución significativa en la velocidad del flujo, lo que a su vez favorece la sedimentación de sólidos y posibles acumulaciones en ese sector.

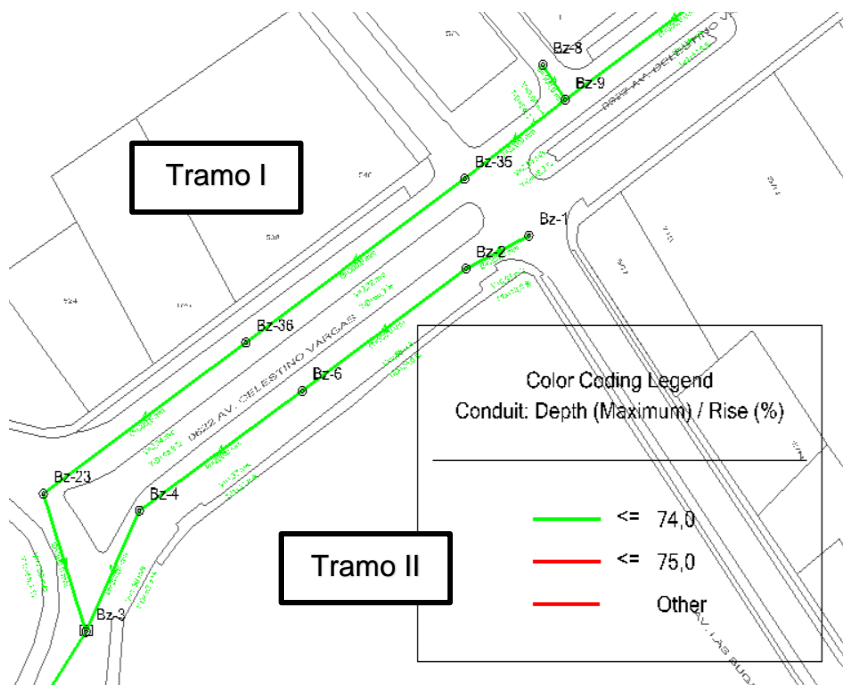
Figura 10

Pendiente Crítica II



Se visualiza en la figura 11 la propuesta de mejora con una proyección de 20 años, mismo que involucra cambio de dimensiones de la tubería, cambio de ubicación de los buzones, cambio de pendientes, variación de velocidades y demás parámetros de diseño.

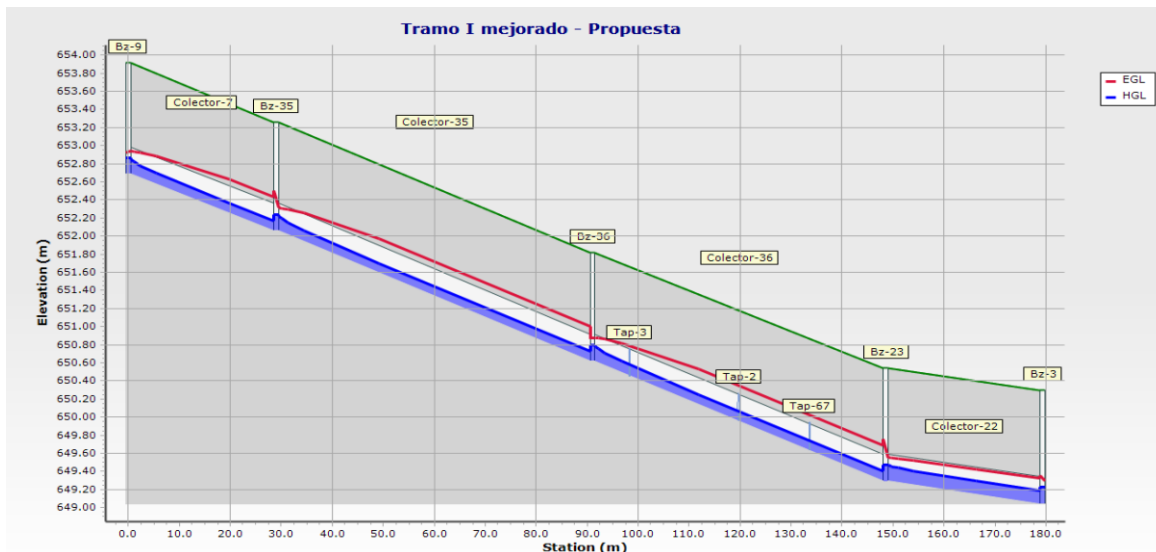
Figura 11
Tramos Críticos Mejorados



En la figura 12 se observa el comportamiento del sistema de alcantarillado a lo largo del tramo, representando las líneas de energía (EGL) y de gradiente hidráulico (HGL). La HGL se mantiene por debajo de la superficie del terreno en todo el recorrido, lo que indica un funcionamiento adecuado del sistema en régimen de flujo a superficie libre, sin riesgo de sobrepresiones ni reboses en los buzones. La pendiente del colector es constante y favorable para el escurrimiento, presentando solo pequeñas variaciones en los puntos de empalme con colectores y acometidas, asociadas a pérdidas de carga localizadas. En general, el perfil muestra un diseño hidráulico eficiente, con adecuada disipación de energía y seguridad hidráulica frente a eventos de diseño, conforme a los criterios del Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma OS.070.

Figura 12

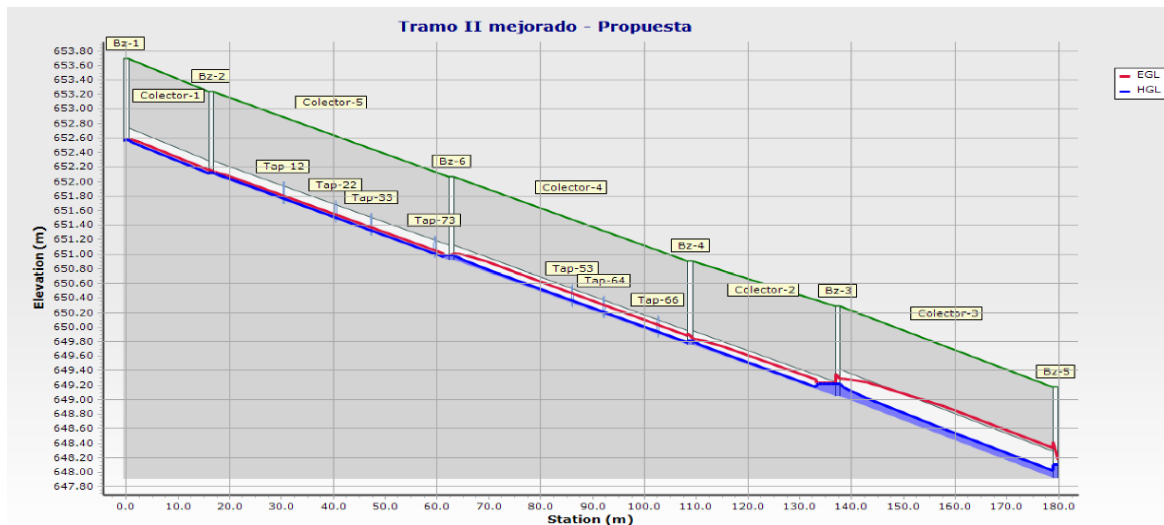
Perfil Hidráulico Propuesto del Tramo I Mejorado



Asimismo, se observa en la figura 13 el comportamiento del flujo a lo largo del tramo, donde la línea de gradiente hidráulico (HGL) se mantiene por debajo de la rasante del terreno, indicando un flujo estable a superficie libre. La pendiente del colector es continua y adecuada para evitar sedimentación, y las pérdidas de carga localizadas en las conexiones son mínimas. El diseño cumple con los criterios de la Norma Técnica OS.070 – Drenaje Pluvial del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, Perú), garantizando condiciones hidráulicas seguras y eficientes.

Figura 13

Perfil Hidráulico Propuesto del Tramo II Mejorado



4.3. Colector Existente

Se presentan los datos recopilados del programa SewerCAD utilizados para el modelamiento hidráulico del sistema colector existente, permitiendo evaluar su comportamiento y detectar posibles zonas críticas.

Tabla 13

Colector Existente

Label	Start Node	Stop Node	Invert (Start) (m)	Invert (Stop) (m)	Length (Scaled) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Section Type	Diameter (mm)	Manning's n	Velocity (m/s)	Capacity (Full Flow) (L/s)	Flow / Capacity (Design) (%)	Depth/Rise (%)	Material
CO-34	Bz-47	Bz-38	655,20	654,88	47,2	-0,007	Circle	300,0	0,013	0,14	79,61	12,3	62,9	CO
CO-11	Bz-10	Bz-11	692,05	691,32	80,4	0,009	Circle	200,0	0,013	0,96	31,25	44,1	50,8	CO
CO-3	Bz-49	Bz-1	712,47	711,91	60,0	0,009	Circle	200,0	0,013	0,69	31,70	12,6	27,6	CO
CO-1	Bz-19	Bz-48	713,75	713,11	60,6	0,011	Circle	200,0	0,013	0,62	33,70	6,9	21,6	CO
CO-2	Bz-48	Bz-49	713,11	712,47	60,0	0,011	Circle	200,0	0,013	0,68	33,88	9,3	24,8	CO
CO-12	Bz-11	Bz-45	691,32	690,47	79,5	0,011	Circle	200,0	0,013	1,04	33,92	43,1	52,3	CO
CO-45	Bz-7	Bz-5	705,18	704,39	66,8	0,012	Circle	200,0	0,013	0,64	35,68	6,5	32,5	CO
CO-13	Bz-45	Bz-13	690,47	689,79	48,6	0,014	Circle	200,0	0,013	1,17	38,80	39,8	55,8	CO
CO-14	Bz-13	Bz-14	689,79	687,85	114,1	0,017	Circle	200,0	0,013	1,31	42,77	43,5	59,2	CO
CO-31	Bz-39	Bz-40	652,19	651,75	25,8	0,017	Circle	200,0	0,013	1,49	42,87	74,4	78,7	CO
CO-16	Bz-15	Bz-16	685,40	684,54	50,3	0,017	Circle	200,0	0,013	1,35	42,90	47,2	61,8	CO
CO-44	Bz-6	Bz-5	704,74	704,39	18,6	0,019	Circle	200,0	0,013	0,55	45,01	1,8	28,4	CO
CO-48	Bz-42	Bz-44	647,11	646,80	15,4	0,020	Circle	300,0	0,013	1,74	137,19	32,8	54,9	CO
CO-43	Bz-46	Bz-22	673,26	674,36	53,6	0,021	Circle	300,0	0,013	0,74	138,55	1,7	12,9	CO
CO-36	Bz-36	Bz-32	656,06	657,83	85,0	0,021	Circle	300,0	0,013	1,08	139,51	5,8	23,1	CO
CO-47	Bz-41	Bz-42	649,13	647,11	89,9	0,022	Circle	300,0	0,013	1,80	144,97	30,5	54,4	CO
CO-49	Bz-44	Bz-43	646,80	646,23	24,7	0,023	Circle	300,0	0,013	1,84	147,00	31,2	55,4	CO
CO-10	Bz-9	Bz-10	698,50	692,05	260,2	0,025	Circle	200,0	0,013	1,37	51,64	25,1	49,2	CO
CO-5	Bz-2	Bz-3	711,58	708,20	134,9	0,025	Circle	200,0	0,013	1,08	51,91	10,9	32,6	CO
CO-24	Bz-29	Bz-31	661,98	660,68	50,7	0,026	Circle	200,0	0,013	1,68	52,51	51,2	71,3	CO
CO-50	Bz-43	O-1	646,23	645,09	44,5	0,026	Circle	300,0	0,013	1,92	154,86	30,1	46,7	CO

(continúa)

Tabla 13 (continuación)

Label	Start Node	Stop Node	Invert (Start) (m)	Invert (Stop) (m)	Length (Scaled) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Section Type	Diameter (mm)	Manning's n	Velocity (m/s)	Capacity (Full Flow) (L/s)	Flow / Capacity (Design) (%)	Depth/Rise (%)	Material
CO-9	Bz-8	Bz-9	702,77	698,50	159,8	0,027	Circle	200,0	0,013	1,38	53,61	22,6	47,6	CO
CO-29	Bz-37	Bz-39	654,10	652,19	70,7	0,027	Circle	200,0	0,013	1,78	53,90	57,6	76,5	CO
CO-25	Bz-31	Bz-33	660,68	659,09	58,7	0,027	Circle	200,0	0,013	1,73	53,99	51,4	72,4	CO
CO-17	Bz-16	Bz-17	684,54	682,39	78,3	0,027	Circle	200,0	0,013	1,62	54,33	38,8	63,1	CO
CO-32	Bz-40	Bz-41	651,75	649,13	94,1	0,028	Circle	300,0	0,013	1,94	161,39	26,8	53,8	CO
CO-46	Bz-12	Bz-13	691,22	689,79	50,3	0,028	Circle	200,0	0,013	0,87	55,32	4,2	39,2	CO
CO-8	Bz-5	Bz-8	704,39	702,77	56,3	0,029	Circle	200,0	0,013	1,39	55,64	20,3	45,9	CO
CO-26	Bz-33	Bz-34	659,09	657,52	50,7	0,031	Circle	200,0	0,013	1,83	57,71	49,5	73,4	CO
CO-35	Bz-38	Bz-36	654,88	656,06	37,8	0,031	Circle	300,0	0,013	1,28	170,79	5,2	61,8	CO
CO-15	Bz-14	Bz-15	687,85	685,40	78,3	0,031	Circle	200,0	0,013	1,66	58,01	33,5	60,5	CO
CO-23	Bz-26	Bz-29	666,85	661,98	148,0	0,033	Circle	200,0	0,013	1,83	59,49	43,8	70,2	CO
CO-38	Bz-30	Bz-28	659,96	661,98	58,2	0,035	Circle	300,0	0,013	1,20	180,19	3,6	20,7	CO
CO-6	Bz-3	Bz-4	708,20	705,44	79,5	0,035	Circle	200,0	0,013	1,27	61,13	10,6	34,8	CO
CO-27	Bz-34	Bz-35	657,52	655,49	56,8	0,036	Circle	200,0	0,013	1,95	61,98	47,4	74,5	CO
CO-19	Bz-18	Bz-20	679,91	677,54	65,7	0,036	Circle	200,0	0,013	1,83	62,31	36,5	65,6	CO
CO-37	Bz-32	Bz-30	657,83	659,96	58,0	0,037	Circle	300,0	0,013	1,27	185,38	3,9	21,9	CO
CO-18	Bz-17	Bz-18	682,39	679,91	67,1	0,037	Circle	200,0	0,013	1,83	63,04	34,8	64,3	CO
CO-39	Bz-28	Bz-27	661,98	665,19	80,7	0,040	Circle	300,0	0,013	1,21	192,82	2,9	19,4	CO
CO-41	Bz-25	Bz-24	668,19	671,21	74,4	0,041	Circle	300,0	0,013	1,10	194,85	2,0	16,5	CO
CO-40	Bz-27	Bz-25	665,19	668,19	72,9	0,041	Circle	300,0	0,013	1,17	196,14	2,5	18,0	CO
CO-7	Bz-4	Bz-5	705,44	704,39	23,8	0,044	Circle	200,0	0,013	1,43	68,87	10,6	40,5	CO
CO-20	Bz-20	Bz-21	677,54	674,59	65,1	0,045	Circle	200,0	0,013	2,00	69,81	33,8	66,8	CO
CO-21	Bz-21	Bz-23	674,59	671,77	61,0	0,046	Circle	200,0	0,013	2,04	70,55	34,6	67,9	CO
CO-22	Bz-23	Bz-26	671,77	666,85	105,1	0,047	Circle	200,0	0,013	2,07	70,97	35,6	69,1	CO
CO-28	Bz-35	Bz-37	655,49	654,10	27,1	0,051	Circle	200,0	0,013	2,24	74,24	40,7	75,5	CO
CO-33	Bz-40	Bz-47	651,75	655,20	50,0	0,069	Circle	300,0	0,013	1,78	253,96	4,2	39,7	CO
CO-4	Bz-1	Bz-2	711,91	711,58	2,6	0,125	Circle	200,0	0,013	1,82	115,75	4,2	30,2	CO
CO-42	Bz-24	Bz-46	671,21	673,26	16,4	0,125	Circle	300,0	0,013	1,52	341,45	0,9	14,8	CO

4.4. Buzones Existente

En esta sección se presentan los datos ingresados de los buzones en el programa SewerCAD, los cuales fueron utilizados para el modelamiento hidráulico del sistema existente, permitiendo analizar el comportamiento del flujo y evaluar la eficiencia del colector (Tabla 14).

Tabla 14

Buzones Existentes

Label	Elevation Set (Ground) (m)	Rim to Ground Elevation?	Elevation (Rim) (m)	Elevation (Invert) (m)	Flow (Total In) (L/s)	Flow (Total Out) (L/s)	Depth (Out) (m)	Hydraulic Grade Line (Out) (m)	Hydraulic Grade Line (In) (m)
Bz-1	713,67	True	713,67	711,91	3,99	4,82	0,06	711,97	711,97
Bz-2	713,58	True	713,58	711,58	4,82	5,65	0,06	711,64	711,64
Bz-3	709,56	True	709,56	708,20	5,65	6,48	0,07	708,27	708,27
Bz-4	707,04	True	707,04	705,44	6,48	7,31	0,07	705,51	705,51
Bz-5	706,34	True	706,34	704,39	10,47	11,30	0,09	704,48	704,48
Bz-6	706,44	True	706,44	704,74	0,00	0,83	0,02	704,76	704,76
Bz-7	706,28	True	706,28	705,18	0,00	2,33	0,04	705,22	705,22
Bz-8	704,57	True	704,57	702,77	11,30	12,13	0,09	702,86	702,86
Bz-9	700,10	True	700,10	698,50	12,13	12,95	0,10	698,60	698,60
Bz-10	693,65	True	693,65	692,05	12,95	13,78	0,10	692,15	692,15
Bz-11	693,12	True	693,12	691,32	13,78	14,61	0,10	691,42	691,42
Bz-12	692,82	True	692,82	691,22	0,00	2,33	0,04	691,26	691,26
Bz-13	692,19	True	692,19	689,79	17,77	18,60	0,12	689,91	689,91
Bz-14	689,95	True	689,95	687,85	18,60	19,43	0,12	687,97	687,97
Bz-15	687,93	True	687,93	685,40	19,43	20,26	0,12	685,52	685,52
Bz-16	686,64	True	686,64	684,54	20,26	21,09	0,12	684,66	684,66
Bz-17	683,89	True	683,89	682,39	21,09	21,92	0,13	682,52	682,52
Bz-18	681,29	True	681,29	679,91	21,92	22,75	0,13	680,04	680,04
Bz-19	719,00	True	719,00	713,75	0,00	2,33	0,04	713,79	713,79
Bz-20	678,73	True	678,73	677,54	22,75	23,58	0,13	677,67	677,67
Bz-21	676,02	True	676,02	674,59	23,58	24,41	0,13	674,72	674,72
Bz-22	675,73	True	675,73	674,36	0,00	2,33	0,04	674,40	674,40
Bz-23	673,37	True	673,37	671,77	24,41	25,24	0,14	671,91	671,91
Bz-24	672,79	True	672,79	671,21	3,16	3,99	0,05	671,26	671,26
Bz-25	669,95	True	669,95	668,19	3,99	4,82	0,05	668,24	668,24
Bz-26	668,68	True	668,68	666,85	25,24	26,07	0,14	666,99	666,99
Bz-27	667,04	True	667,04	665,19	4,82	5,65	0,06	665,25	665,25
Bz-28	664,33	True	664,33	661,98	5,65	6,48	0,06	662,04	662,04
Bz-29	663,80	True	663,80	661,98	26,07	26,90	0,14	662,12	662,12
Bz-30	662,52	True	662,52	659,96	6,48	7,31	0,06	660,02	660,02

(continúa)

Tabla 14 (continuación)

Label	Elevation Set (Ground) (m)	Rim to Ground Elevation?	Elevation (Rim) (m)	Elevation (Invert) (m)	Flow (Total In) (L/s)	Flow (Total Out) (L/s)	Depth (Out) (m)	Hydraulic Grade Line (Out) (m)	Hydraulic Grade Line (In) (m)
Bz-31	662,51	True	662,51	660,68	26,90	27,73	0,14	660,82	660,82
Bz-32	660,83	True	660,83	657,83	7,31	8,14	0,07	657,90	657,90
Bz-33	660,95	True	660,95	659,09	27,73	28,56	0,15	659,24	659,24
Bz-34	659,35	True	659,35	657,52	28,56	29,39	0,15	657,67	657,67
Bz-35	657,31	True	657,31	655,49	29,39	30,22	0,15	655,64	655,64
Bz-36	658,49	True	658,49	656,06	8,14	8,97	0,07	656,13	656,13
Bz-37	656,34	True	656,34	654,10	30,22	31,05	0,15	654,25	654,25
Bz-38	657,25	True	657,25	654,88	8,97	9,80	0,44	655,32	655,32
Bz-39	654,59	True	654,59	652,19	31,05	31,88	0,15	652,34	652,34
Bz-40	654,37	True	654,37	651,75	42,50	43,33	0,16	651,91	651,91
Bz-41	651,96	True	651,96	649,13	43,33	44,16	0,16	649,29	649,29
Bz-42	649,88	True	649,88	647,11	44,16	44,99	0,16	647,27	647,27
Bz-43	648,66	True	648,66	646,23	45,82	46,65	0,17	646,40	646,40
Bz-44	649,58	True	649,58	646,80	44,99	45,82	0,17	646,97	646,97
Bz-45	692,83	True	692,83	690,47	14,61	15,44	0,11	690,58	690,58
Bz-46	673,55	True	673,55	673,26	2,33	3,16	0,04	673,30	673,30
Bz-47	655,84	True	655,84	655,20	9,80	10,63	0,08	655,28	655,28
Bz-48	717,31	True	717,31	713,11	2,33	3,16	0,05	713,16	713,16
Bz-49	715,47	True	715,47	712,47	3,16	3,99	0,05	712,52	712,52

4.5. Colectores Proyecto

Se presentan los datos recopilados del programa SewerCAD utilizados para el modelamiento hidráulico del sistema colector propuesto, permitiendo evaluar su comportamiento (Tabla 15).

Tabla 15

Colectores Propyectados

Label	Start Node	Invert (Start) (m)	Stop Node	Invert (Stop) (m)	Length (Scaled) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Section Type	Diameter (mm)	Manning's n	Velocity (m/s)	Flow / Capacity (Design) (%)	Depth/Rise (%)	Material
Colector-6	Bz-8	652,72	Bz-9	652,69	9,1	0,003	Circle	300,0	0,010	0,60	7,4	54,3	PVC
Colector-39	Bz-38	691,18	Bz-34	690,63	70,4	0,008	Circle	300,0	0,010	1,19	19,5	36,6	PVC
Colector-34	Bz-34	690,63	Bz-18	690,14	62,8	0,008	Circle	300,0	0,010	1,23	21,6	33,8	PVC
Colector-22	Bz-23	649,29	Bz-3	649,04	30,8	0,008	Circle	300,0	0,010	1,60	53,5	55,1	PVC
Colector-11	Bz-12	662,36	Bz-13	662,00	38,6	0,009	Circle	300,0	0,010	0,60	1,3	31,9	PVC
Colector-38	Bz-38	691,18	Bz-46	691,99	78,6	0,010	Circle	300,0	0,010	1,25	14,5	34,2	PVC
Colector-17	Bz-19	689,05	Bz-20	687,93	52,7	0,021	Circle	300,0	0,010	1,78	14,0	40,1	PVC
Colector-16	Bz-19	689,05	Bz-18	690,14	50,8	0,021	Circle	300,0	0,010	1,75	13,1	38,2	PVC
Colector-18	Bz-20	687,93	Bz-45	686,34	74,3	0,021	Circle	300,0	0,010	1,85	15,7	33,5	PVC
Colector-7	Bz-9	652,69	Bz-35	652,06	29,0	0,022	Circle	300,0	0,010	2,26	31,6	48,2	PVC
Colector-36	Bz-36	650,62	Bz-23	649,29	57,5	0,023	Circle	300,0	0,010	2,34	31,8	48,9	PVC
Colector-35	Bz-35	652,06	Bz-36	650,62	62,1	0,023	Circle	300,0	0,010	2,32	30,4	60,3	PVC
Colector-21	Bz-22	659,13	Bz-44	657,39	73,7	0,024	Circle	300,0	0,010	2,26	26,9	44,9	PVC
Colector-30	Bz-28	700,72	Bz-42	702,22	61,8	0,024	Circle	300,0	0,010	1,24	3,3	22,3	PVC
Colector-32	Bz-31	711,44	Bz-39	712,97	62,9	0,024	Circle	300,0	0,010	0,82	0,8	7,9	PVC
Colector-27	Bz-26	684,47	Bz-45	686,34	75,5	0,025	Circle	300,0	0,010	1,94	14,6	41,6	PVC
Colector-2	Bz-3	649,04	Bz-4	649,75	28,4	0,025	Circle	200,0	0,010	1,36	10,8	62,3	PVC
Colector-5	Bz-6	650,92	Bz-2	652,09	46,4	0,025	Circle	200,0	0,010	0,88	2,4	25,0	PVC
Colector-4	Bz-6	650,92	Bz-4	649,75	46,1	0,025	Circle	200,0	0,010	1,37	10,7	27,6	PVC
Colector-47	Bz-47	693,94	Bz-33	695,98	80,2	0,025	Circle	300,0	0,010	1,58	6,8	28,9	PVC
Colector-28	Bz-27	699,17	Bz-32	697,58	61,5	0,026	Circle	300,0	0,010	1,56	6,4	21,8	PVC

(continúa)

Tabla 15 (continuación)

Label	Start Node	Invert (Start) (m)	Stop Node	Invert (Stop) (m)	Length (Scaled) (m)	Slope (Calculated) (m/m)	Section Type	Diameter (mm)	Manning's n	Velocity (m/s)	Flow / Capacity (Design) (%)	Depth/Rise (%)	Material
Colector-40	Bz-39	712,97	Bz-29	714,78	69,6	0,026	Circle	300,0	0,010	0,83	0,8	7,8	PVC
Colector-33	Bz-33	695,98	Bz-32	697,58	61,7	0,026	Circle	300,0	0,010	1,56	6,4	27,6	PVC
Colector-19	Bz-21	660,55	Bz-22	659,13	54,5	0,026	Circle	300,0	0,010	2,34	25,7	44,5	PVC
Colector-46	Bz-46	691,99	Bz-47	693,94	74,5	0,026	Circle	300,0	0,010	1,65	7,5	31,2	PVC
Colector-20	Bz-21	660,55	Bz-13	662,00	55,1	0,026	Circle	300,0	0,010	2,31	24,0	55,2	PVC
Colector-29	Bz-28	700,72	Bz-27	699,17	58,8	0,026	Circle	300,0	0,010	1,51	5,5	26,3	PVC
Colector-3	Bz-5	647,92	Bz-3	649,04	42,1	0,027	Circle	375,0	0,010	2,50	18,2	37,9	PVC
Colector-8	Bz-9	652,69	Bz-37	654,37	61,6	0,027	Circle	300,0	0,010	2,38	25,0	57,9	PVC
Colector-1	Bz-1	652,54	Bz-2	652,09	16,4	0,027	Circle	200,0	0,010	0,91	2,3	13,0	PVC
Colector-24	Bz-24	706,03	Bz-41	704,30	59,8	0,029	Circle	300,0	0,010	1,27	2,6	14,3	PVC
Colector-43	Bz-42	702,22	Bz-41	704,30	71,1	0,029	Circle	300,0	0,010	1,27	2,6	18,5	PVC
Colector-15	Bz-17	707,93	Bz-16	709,46	49,6	0,031	Circle	300,0	0,010	0,89	0,7	10,6	PVC
Colector-42	Bz-40	664,24	Bz-14	666,46	71,8	0,031	Circle	300,0	0,010	2,39	20,2	52,6	PVC
Colector-41	Bz-40	664,24	Bz-13	662,00	70,4	0,032	Circle	300,0	0,010	2,45	21,0	53,8	PVC
Colector-14	Bz-16	709,46	Bz-31	711,44	60,1	0,033	Circle	300,0	0,010	0,91	0,7	7,7	PVC
Colector-23	Bz-24	706,03	Bz-17	707,93	57,3	0,033	Circle	300,0	0,010	1,04	1,1	14,8	PVC
Colector-31	Bz-29	714,78	Bz-30	716,83	61,4	0,033	Circle	300,0	0,010	0,91	0,7	7,7	PVC
Colector-25	Bz-25	682,36	Bz-26	684,47	59,1	0,036	Circle	300,0	0,010	2,23	12,5	43,9	PVC
Colector-9	Bz-10	671,22	Bz-11	670,11	30,3	0,037	Circle	300,0	0,010	1,04	0,9	31,0	PVC
Colector-48	O-1	645,92	Bz-5	647,92	52,7	0,038	Circle	375,0	0,010	2,83	15,3	36,7	PVC
Colector-44	Bz-43	677,26	Bz-48	674,23	78,0	0,039	Circle	300,0	0,010	2,52	16,5	37,9	PVC
Colector-45	Bz-43	677,26	Bz-7	680,06	71,8	0,039	Circle	300,0	0,010	2,42	14,2	47,7	PVC
Colector-12	Bz-14	666,46	Bz-15	668,18	43,9	0,039	Circle	300,0	0,010	2,57	17,4	51,4	PVC
Colector-26	Bz-25	682,36	Bz-7	680,06	58,2	0,040	Circle	300,0	0,010	2,43	14,1	35,1	PVC
Colector-13	Bz-15	668,18	Bz-11	670,11	47,5	0,041	Circle	300,0	0,010	2,60	17,0	38,8	PVC
Colector-37	Bz-37	654,37	Bz-44	657,39	65,3	0,046	Circle	300,0	0,010	2,88	19,2	42,3	PVC
Colector-10	Bz-48	674,23	Bz-11	670,11	78,4	0,053	Circle	300,0	0,010	2,81	14,2	50,2	PVC

4.6. Buzón Proyectado

En la tabla 16 se presentan los datos de los buzones ingresados en el programa SewerCAD, los cuales fueron utilizados para el modelamiento hidráulico del sistema propuesto, permitiendo analizar el comportamiento del flujo y evaluar la eficiencia del colector.

Tabla 16

Buzón Proyectado

Label	Elevation (Ground) (m)	Elevation (Rim) (m)	Elevation (Invert) (m)	Flow (Total In) (L/s)	Flow (Total Out) (L/s)	Depth (Out) (m)	Hydraulic Grade Line (Out) (m)	Hydraulic Grade Line (In) (m)
Bz-1	653,69	653,69	652,54	0,00	1,50	0,03	652,57	652,57
Bz-2	653,24	653,24	652,09	1,50	1,50	0,03	652,12	652,12
Bz-3	650,29	650,29	649,04	61,98	61,98	0,18	649,22	649,22
Bz-4	650,90	650,90	649,75	6,62	6,62	0,07	649,82	649,82
Bz-5	649,17	649,17	647,92	61,98	61,98	0,18	648,10	648,10
Bz-6	652,07	652,07	650,92	6,62	6,62	0,07	650,99	650,99
Bz-7	681,26	681,26	680,06	32,23	32,23	0,14	680,20	680,20
Bz-8	654,00	654,00	653,00	0,00	5,00	-0,13	652,87	652,87
Bz-9	653,91	653,91	652,69	53,16	53,16	0,18	652,87	652,87
Bz-10	672,59	672,59	671,22	0,73	1,99	0,03	671,25	671,25
Bz-11	671,31	671,31	670,11	39,34	39,34	0,15	670,26	670,26
Bz-12	663,51	663,51	662,36	0,00	1,50	0,03	662,39	662,39
Bz-13	663,20	663,20	662,00	44,50	44,50	0,16	662,16	662,16
Bz-14	667,66	667,66	666,46	40,81	40,81	0,16	666,62	666,62
Bz-15	669,38	669,38	668,18	39,34	39,34	0,15	668,33	668,33
Bz-16	710,61	710,61	709,46	1,50	1,50	0,03	709,49	709,49
Bz-17	709,08	709,08	707,93	2,23	2,23	0,04	707,97	707,97
Bz-18	691,34	691,34	690,14	21,99	21,99	0,11	690,25	690,25
Bz-19	690,25	690,25	689,05	23,45	23,45	0,12	689,16	689,16
Bz-20	689,13	689,13	687,93	26,38	26,38	0,12	688,06	688,06
Bz-21	661,75	661,75	660,55	47,43	47,43	0,17	660,72	660,72
Bz-22	660,33	660,33	659,13	47,43	47,43	0,17	659,30	659,30
Bz-23	650,54	650,54	649,29	55,36	55,36	0,18	649,48	649,48
Bz-24	707,18	707,18	706,03	5,16	5,16	0,05	706,09	706,09
Bz-25	683,56	683,56	682,36	32,23	32,23	0,14	682,50	682,50
Bz-26	685,67	685,67	684,47	27,11	27,11	0,13	684,59	684,59
Bz-27	700,32	700,32	699,17	11,74	11,74	0,08	699,25	699,25
Bz-28	701,87	701,87	700,72	10,28	10,28	0,08	700,79	700,79
Bz-29	715,93	715,93	714,78	1,50	1,50	0,03	714,80	714,80
Bz-30	717,98	717,98	716,83	0,00	1,50	0,03	716,86	716,86
Bz-31	712,59	712,59	711,44	1,50	1,50	0,03	711,46	711,46

(continúa)

Tabla 16 (continuación)

Label	Elevation (Ground) (m)	Elevation (Rim) (m)	Elevation (Invert) (m)	Flow (Total In) (L/s)	Flow (Total Out) (L/s)	Depth (Out) (m)	Hydraulic Grade Line (Out) (m)	Hydraulic Grade Line (In) (m)
Bz-32	698,73	698,73	697,58	11,74	11,74	0,08	697,66	697,66
Bz-33	697,13	697,13	695,98	12,48	12,48	0,08	696,07	696,07
Bz-34	691,83	691,83	690,63	21,99	21,99	0,11	690,74	690,74
Bz-35	653,26	653,26	652,06	53,16	53,16	0,18	652,24	652,24
Bz-36	651,82	651,82	650,62	55,36	55,36	0,18	650,80	650,80
Bz-37	655,57	655,57	654,37	47,43	47,43	0,17	654,54	654,54
Bz-38	692,38	692,38	691,18	19,79	19,79	0,11	691,29	691,29
Bz-39	714,12	714,12	712,97	1,50	1,50	0,03	713,00	713,00
Bz-40	665,44	665,44	664,24	43,00	43,00	0,16	664,40	664,40
Bz-41	705,45	705,45	704,30	5,16	5,16	0,05	704,35	704,35
Bz-42	703,37	703,37	702,22	5,89	5,89	0,06	702,27	702,27
Bz-43	678,46	678,46	677,26	37,35	37,35	0,15	677,41	677,41
Bz-44	658,59	658,59	657,39	47,43	47,43	0,17	657,55	657,55
Bz-45	687,54	687,54	686,34	26,38	26,38	0,12	686,46	686,46
Bz-46	693,14	693,14	691,99	16,87	16,87	0,10	692,09	692,09
Bz-47	695,09	695,09	693,94	13,94	13,94	0,09	694,03	694,03
Bz-48	675,43	675,43	674,23	37,35	37,35	0,15	674,38	674,38

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

a. Efecto de las pendientes óptimas en la autolimpieza

La adecuación de las pendientes dentro del rango técnicamente recomendado favoreció el incremento de la velocidad del flujo y permitió superar el umbral de autolimpieza. Este comportamiento coincide con lo señalado por Castro y La Motta (2020), quienes demostraron que pendientes apropiadas permiten alcanzar velocidades mínimas entre 0,6 y 0,8 m/s, necesarias para transportar sedimentos sin que ocurra deposición. Asimismo, Butler y Davies (2011) destacan que pendientes insuficientes generan velocidades críticas que promueven la acumulación de sólidos, afectando la operación del sistema. En tal sentido, el ajuste de pendientes constituye un factor determinante para minimizar procesos de sedimentación y garantizar la eficiencia hidráulica del colector.

b. Influencia de la ampliación de diámetros en la capacidad hidráulica

La ampliación de diámetros en los tramos críticos incrementó significativamente la capacidad hidráulica, reduciendo el riesgo de sobrecargas durante eventos de caudal elevado. Este resultado es coherente con lo señalado por Tchobanoglous, Burton y Stensel (2014), quienes indican que el aumento del diámetro incrementa proporcionalmente la capacidad de transporte, disminuye los gradientes de energía requeridos y permite condiciones de flujo más estables. De igual manera, Burton et al. (2013) sostienen que la ampliación de secciones es una estrategia efectiva para restablecer la capacidad de conducción en redes que han mostrado deterioro hidráulico o altos niveles de ocupación.

c. Impacto de la rugosidad en las pérdidas de carga

La reducción de rugosidad lograda mediante la rehabilitación estructural del colector contribuyó a disminuir significativamente las pérdidas de carga y mejorar el régimen de flujo uniforme. Esto coincide con lo planteado por Chow (2009), quien afirma que la rugosidad absoluta de la pared del conducto tiene una influencia directa sobre la fricción y, por ende, sobre las pérdidas de energía. Por su parte, Sturm (2010) indica que materiales con menor rugosidad permiten mayores velocidades para una misma pendiente hidráulica, lo cual se refleja en una operación más eficiente y menor riesgo de sedimentación.

d. Resiliencia hidráulica ante caudales máximos horarios

El colector mejorado mostró una mayor resiliencia hidráulica frente a caudales máximos horarios, manteniendo niveles piezométricos dentro de los límites operativos. Estos resultados concuerdan con los planteamientos de Butler y Davies (2011), quienes explican que la resiliencia de una red de alcantarillado depende directamente de su capacidad para operar adecuadamente ante variaciones extremas de caudal sin exceder condiciones de carga crítica.

e. Reducción de costos de mantenimiento y extensión de vida útil

La intervención propuesta mostró efectos favorables en la reducción de los costos futuros de mantenimiento, producto de una menor frecuencia de limpiezas y desatascos. Estos resultados son coherentes con lo indicado por Ashley et al. (2007), quienes señalan que redes que mantienen velocidades de autolimpieza demandan significativamente menos intervenciones correctivas. De manera complementaria, Tchobanoglous et al. (2014) afirman que mejoras en la conducción hidráulica contribuyen a la prolongación de la vida útil del sistema, al disminuir la exposición del colector a condiciones desfavorables como sedimentación prolongada o sobrepresiones.

f. Replicabilidad en otras redes sanitarias

Los resultados obtenidos muestran que la metodología aplicada—basada en ajuste de pendientes, ampliación de diámetros y optimización hidráulica mediante modelamiento—es replicable en otras redes sanitarias con problemas similares. Esto se alinea con lo expuesto por Butler y Davies (2011), quienes destacan que los principios de diseño y rehabilitación basados en criterios de autolimpieza y eficiencia hidráulica pueden aplicarse en contextos urbanos diversos. Asimismo, Castro y La Motta (2020) sostienen que las herramientas gráficas y metodológicas para definir pendientes óptimas tienen alta transferibilidad a sistemas de alcantarillado que comparten características geométricas y operativas.

CONCLUSIONES

El estudio confirma que el objetivo general fue alcanzado, ya que el modelamiento hidráulico desarrollado en SewerCAD permitió evaluar de manera integral el sistema y sustentar técnicamente la propuesta de mejora. Las intervenciones planteadas optimizan el desempeño hidráulico del colector de la avenida Celestino Vargas, mitigando las limitaciones identificadas en su configuración actual y asegurando un sistema más eficiente, confiable y acorde con las necesidades presentes y futuras del distrito de Pocollay.

La evaluación del estado actual del colector principal de la avenida Celestino Vargas permitió evidenciar que existen tramos con pendientes insuficientes y velocidades de flujo por debajo de los valores mínimos requeridos para garantizar el autolavado del sistema. Esto genera acumulación de sedimentos y taponamientos recurrentes, afectando la eficiencia hidráulica. Asimismo, se identificaron variaciones de diámetros y relaciones tirante/diámetro elevadas que generan condiciones de operación inestables en determinados sectores de la red.

Se identificó que los factores de diseño que más afectan el funcionamiento del colector corresponden a pendientes y diámetros que no cumplen los estándares técnicos recomendados, la carencia de buzones de inspección en puntos estratégicos y la ausencia de un programa adecuado de mantenimiento. Estas deficiencias incrementan la probabilidad de obstrucciones, reducen la capacidad operativa del sistema y limitan su desempeño hidráulico en condiciones de demanda creciente.

La propuesta de mejora formulada, basada en la corrección de pendientes y diámetros, así como en la incorporación de buzones con trampas de sedimentos y cámaras de inspección, demostró una mejora significativa en el comportamiento hidráulico del colector. El modelamiento realizado en SewerCAD evidenció incrementos en las velocidades, estabilidad del flujo y reducción de zonas críticas, garantizando un funcionamiento más seguro, eficiente y sostenible del sistema ante escenarios de operación exigentes.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Empresa Prestadora de Servicios (EPS Tacna) ejecutar las modificaciones geométricas necesarias en los tramos del colector que presentan pendientes y diámetros que no cumplen con los requerimientos hidráulicos mínimos. Estas adecuaciones permitirán alcanzar velocidades de flujo que eviten la acumulación de sedimentos y reducirán la probabilidad de taponamientos, mejorando el rendimiento hidráulico y funcional del sistema.

Se sugiere a la Empresa Prestadora de Servicios (EPS Tacna) instalar cámaras de inspección adicionales y buzones equipados con dispositivos de retención de sedimentos en puntos estratégicos de la red. Esta acción fortalecerá las labores de mantenimiento preventivo, facilitará la supervisión del estado estructural del sistema y permitirá una detección temprana de posibles fallas operativas asociadas a deficiencias de diseño.

Se recomienda ejecutar la propuesta de mejora obtenida del modelamiento hidráulico en SewerCAD, asegurando que las intervenciones planteadas (correcciones geométricas, instalación de infraestructura complementaria y optimización de caudales) sean implementadas conforme a los resultados del análisis hidráulico. Asimismo, se sugiere evaluar el comportamiento del colector durante y después de la intervención para validar las mejoras identificadas en condiciones críticas de operación.

Se recomienda a la Empresa Prestadora de Servicios (EPS Tacna) implementar un sistema de monitoreo continuo utilizando tecnologías IoT (Internet de las Cosas), que permita registrar en tiempo real parámetros como niveles, velocidades y condiciones de operación del flujo. Esta tecnología facilitará la transición hacia un mantenimiento predictivo, optimizará el uso de recursos y garantizará un sistema de alcantarillado más eficiente, confiable y sostenible a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Pipe Association. (2014). *Concrete pipe design manual (4.^a ed.)*. American Concrete Pipe Association. <https://concretepipe.org/wp-content/uploads/2014/09/cp-manual.pdf>
- Ashley, R. M., Bertrand-Krajewski, J. L., Hvitved-Jacobsen, T., y Verbanck, M. (2007). *Sewer Solids: Control and Management*. IWA Publishing. <https://iwaponline.com/ebooks/book/361/Solids-in-Sewers-Characteristics-Effects-and>
- Batha, E., y Kluck, J. (2025). *Modelling pluvial flooding in urban areas by coupling hydraulic models*. *Water*, 12(9), 2647.
- Bentley Systems. (2018). *SewerCAD: Documentación y guías del usuario*. Bentley Systems <https://es-la.bentley.com/resources/>
- Burton, F. L., Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Metcalf y Eddy, Inc. (2013). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.)*. McGraw-Hill. <https://es.scribd.com/document/842034487/Metcalf-Eddy-Wastewater-Engineering-Treatment-and-Resource-Recovery-5th-Edition-Intro>
- Butler, D., y Davies, J. W. (2011). *Urban Drainage (3rd ed.)*. CRC Press. https://civilnode.com/download-book/10250397252315/urban-drainage-third-edition?utm_source=chatgpt.com
- Cama Ticona, D., y Huanca Huaricallo, M. (2022). *Modelamiento hidráulico para el control de pérdidas y la gestión del sistema de agua potable de la ciudad de Piura* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Piura].
- Castro Carrera, F., y La Motta, E. J. (2020). *Herramientas gráficas de diseño para determinar la pendiente mínima de autolimpieza en tuberías de alcantarillado sanitario de pequeño diámetro*. *Ingeniería del Agua*, 24(1), 49–63. <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/12260>
- Chávez, A. (2007). *Metodología de la investigación (1^a ed.)*. https://kupdf.net/download/metodologia-de-la-investigacion-chavez_5c6f1162e2b6f5de5e1c143a_pdf Kupdf.

- Chow, V. T. (1959). *Open-channel hydraulics*. McGraw-Hill.
https://openlibrary.org/books/OL19405792M/Open-channel_hydraulics
- Comisión Permanente Intergubernamental de Saneamiento (2005). *Guía para el diseño de tecnologías de alcantarillado*. CPIS. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/418.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Cruz Choquecota, J. M. (2023). *Propuesta del modelamiento del sistema hídrico para el servicio de agua potable en Sobraya – Tacna* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Tacna].
- Huamán, L. (2023). *Evaluación y modelamiento hidráulico de los colectores primarios de la comunidad urbana autogestionaria de Huaycán – Ate* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2018). *Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda. Resultados definitivos*. INEI. <https://www.inei.gob.pe>
- Metcalf y Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D., y Tsuchihashi, R. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery* (5.^a ed.). McGraw-Hill Education.
https://old.wta.org/collections/Resources/Download_PDFS/Metcalf_And_Eddy_Wastewater_Engineering_5th_Edition.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones: Norma OS.070 — Redes de aguas residuales* [Norma técnica]. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Guía de orientación para elaboración de expedientes técnicos de proyectos de saneamiento*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/189935-guia-de-orientacion-para-elaboracion-de-expedientes-tecnicos-de-proyectos-de-saneamiento>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Resolución Ministerial N.º 153-2019-VIVIENDA: Guía de Diseños Estandarizados para Infraestructura Sanitaria Menor en Proyectos de Saneamiento en el Ámbito Urbano — Etapa 1 y anexos*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/275263-153-2019-vivienda>

- Ortega Guzmán, C. (2020). *Diseño de redes de agua potable y alcantarillado de la comunidad de La Ensenada – Pachacamac usando WaterCAD y SewerCAD* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2009). *Norma OS.100: Consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Rossman, L. A. (2016). *Storm Water Management Model user's manual, version 5.1, Volume III – Water Quality* (Appendix A). U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-04/documents/swmm_5_user_manual_vol3_water_quality_appendixa.pdf
- Santos Arrieta, J. (2019). *Modelamiento hidráulico para el mejoramiento del sistema de alcantarillado en Callao, Ventanilla y San Martín de Porres* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Federico Villarreal].
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL). (s. f.). *Especificaciones técnicas para obras y servicios de saneamiento*. <https://www.sedapal.com.pe/normatividad-tecnica>
- Silva Charaja, F. J. (2018). *Coeficientes reales de variaciones de consumo de agua para obras de saneamiento en la región Tacna* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio UPT. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/880>
- Singh, R., y Patel, S. (2024). *Design of storm sewer system: Hydraulic modelling with SewerCAD*. *Journal of Sewer Systems Engineering*, 41(4), 55–67.
- Sturm, T. W. (2010). *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill. <https://es.scribd.com/document/903319084/Open-Channel-Hydraulics-Third-Edition-Terry-W-Sturm-Z-Library>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., y Stensel, H. D. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4th ed.). McGraw-Hill. https://ptabdata.blob.core.windows.net/files/2017/IPR2017-01468/v22_FWS1016%20-%20Metcalf.pdf
- Torres, L., y Hernández, D. (2018). *Use of hydraulic models for the solution of sanitary and pluvial problems: Case study Chetumal, México*. *Journal of Water Engineering*, 12(3), 144–156.

Utilian. (s.f.). *GeoSWMM: Sewer and stormwater modeling software*.
<https://utilian.com/geoswmm>

Vargas Laurente, K. (2025). *Propuesta de sistema de alcantarillado empleando el software SewerCAD en el A.H. Villa Don Víctor, Nuevo Chimbote* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Santa].

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicador	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Cómo mejorar el colector de desagüe de la avenida Celestino Vargas en el distrito de Pocollay, Tacna mediante el modelamiento hidráulico con SERWERCAD?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Proponer la mejora del colector de la avenida Celestino Vargas del distrito de Pocollay, mediante el modelamiento hidráulico realizado en SERWERCAD.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>El modelamiento hidráulico permitirá plantear una propuesta de mejora que optimice el desempeño del colector de la avenida Celestino Vargas, distrito de Pocollay - Tacna</p>	<p>Variable independiente</p> <p>- Modelamiento Hidráulico con SewerCAD.</p>	<p>Indicador</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parámetros de diseño para el sistema hidráulico. - Criterios para el diseño del colector. - Fórmulas de diseño. 	<p>Metodología</p> <p>Tipo de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Investigación aplicada <p>Nivel de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Descriptivo - Explicativo
<p>Problemas específicos</p> <p>a. ¿Cuál es el estado actual del sistema hidráulico del colector de la avenida Celestino Vargas del distrito de Pocollay - Tacna?</p> <p>b. ¿Qué factores de diseño influyen en el mejoramiento del colector de la avenida Celestino Vargas del distrito de Pocollay - Tacna?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>a. Evaluar el estado actual del sistema hidráulico del colector ubicado en la avenida Celestino Vargas, distrito de Pocollay – Tacna.</p> <p>b. Identificar los factores de diseño que inciden en el</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>a. La identificación de las deficiencias del estado actual del colector de la avenida Celestino Vargas permitirá plantear alternativas de mejora en su funcionamiento hidráulico.</p> <p>b. El reconocimiento de los factores de diseño que influyen</p>	<p>Variable dependiente</p> <p>- Propuesta de Mejoramiento del Colector de Desagüe.</p> <p>Variable interviniente</p> <p>Viabilidad Técnica y Económica.</p>	<p>Indicador</p> <ul style="list-style-type: none"> - Clasificación del sistema de alcantarillado. - Componentes de la red de alcantarillado. 	<p>Metodología</p> <p>Diseño de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - No experimentales

(continúa)

Anexo 1 (continuación)

<p>c. ¿De qué manera una propuesta de mejora en el diseño del sistema influye en el comportamiento hidráulico bajo condiciones críticas, contribuyendo a reducir las zonas con riesgo de colmatación y a mejorar la estabilidad operacional del colector?</p>	<p>mejoramiento del colector de la avenida Celestino Vargas en el distrito de Pocollay - Tacna</p> <p>c. Formular una propuesta de mejora y evaluar el comportamiento hidráulico del colector en condiciones críticas en la avenida Celestino Vargas, distrito de Pocollay – Tacna</p>	<p>en el colector de la avenida Celestino Vargas permitirá orientar adecuadamente su optimización hidráulica.</p> <p>c. La implementación de una propuesta de mejora que optimice pendientes, diámetros y puntos de inspección mejorará de manera significativa el comportamiento hidráulico del colector bajo condiciones críticas.</p>			
---	--	--	--	--	--

Anexo 2. Hoja de cálculo

TASA DE CRECIMIENTO

1. Cálculo de Valor Futuro

$$T_c = \left(\frac{P_{\text{año } x}}{P_{\text{año } y}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

T_c = Tasa de Crecimiento

P año x = Poblacion del periodo final

P año y = Poblacion del periodo inicial

n = Tiempo en años

2. Cálculo de la Tasa de Crecimiento

Distrito	Población del período final		Población del período inicial		Habitantes
	Censo	Población	Censo	Población	
Pachía	2017	2,062	2007	1,945	Habitantes
Calana	2017	2,979	2007	2,625	Habitantes
Pocollay	2017	18,627	2007	17,113	Habitantes
Tiempo en Años	10 años				

3. Cálculo de Valor de la Tasa de Crecimiento - Distritos de Interés

Distrito	Año	P (Hab)	n (años)	Tasa de Crecimiento	
				T _c	T _c (%)
Pachía	2007	1,945	10	0.006	0.59
	2017	2,062			
Calana	2007	2,625	10	0.013	1.27
	2017	2,979			
Pocollay	2007	17,113	10	0.009	0.85
	2017	18,627			

3. Valor de la Tasa de Crecimiento INEI - Provincia Tacna

Departamento	Año	P (Hab)	Tasa de Crecimiento promedio anual (%)		
			1981-1993	1993-2007	2007-2017
Tacna	1981	143,085	3.6%	2.0%	1.3%
	1993	218,353			
	2007	288,781			
	2017	329,332			

Nota: Tabla tomada del Instituto Nacional de Estadística e Informática – Censos Nacionales de Población y Vivienda.

Caudal de diseño - Calana

1. Población Actual (Po)

$$P_f = P_0(1 + r)^t$$

Tasa de Crecimiento (r) = 0.013
 (r + 1) = 1.013

	AÑO	CALANA (Po)
1	2017	2,979
2	2018	3,017
3	2019	3,055
4	2020	3,094
5	2021	3,134
6	2022	3,174
7	2023	3,214
8	2024	3,255
9	2025	3,296
10	2026	3,337
11	2027	3,378
12	2028	3,419
13	2029	3,460
14	2030	3,501
15	2031	3,542
16	2032	3,583
17	2033	3,624
18	2034	3,665
19	2035	3,706
20	2036	3,747
21	2037	3,788
22	2038	3,829
23	2039	3,870
24	2040	3,911
25	2041	3,952
26	2042	3,993
27	2043	4,034
26	2044	4,087

2. Dotación (Do)

Dotación según Norma OS070 : 220 lts/hab/día

3. Caudal Promedio (Qp)

$$Q_p = \left(\frac{Dot * P_d}{86400} \right)$$

Caudal promedio para Calana

Qp = 10.41 lts/s

4. Caudal Máximo Diario (Qmd)

$$Q_{md} = Q_p * k_1$$

Coefficiente de variación horaria

k1 = 1.3

Caudal máx. horario para Calana

Qmh = 13.5 ltr/s

5. Caudal Máximo Horario (Qmh)

$$Q_{mh} = Q_p * k_2$$

Coefficiente de variación horaria

k2 = 2.05

Caudal máx. horario para Calana

Qmh = 21.3 ltr/s

6. Caudal de alcantarillado (Qalc)

$$Q_{alc} = Q_{mh} * \%Retorno$$

Porcentaje de retorno

80%

Caudal de alcantarillado para Calana

Qalc = 17.1 ltr/s

Caudal de diseño - Pachia

1. Población Actual (Po)

$$P_f = P_0(1 + r)^t$$

Tasa de Crecimiento (r) = 0.006
 (r + 1) = 1.006

	AÑO	PACHIA
1	2017	2,062
2	2018	2,074
3	2019	2,086
4	2020	2,098
5	2021	2,111
6	2022	2,123
7	2023	2,136
8	2024	2,148
9	2025	2,160
10	2026	2,172
11	2027	2,184
12	2028	2,196
13	2029	2,208
14	2030	2,220
15	2031	2,232
16	2032	2,244
17	2033	2,256
18	2034	2,268
19	2035	2,280
20	2036	2,292
21	2037	2,304
22	2038	2,316
23	2039	2,328
24	2040	2,340
25	2041	2,352
26	2042	2,364
27	2043	2,374
28	2044	2,386

2. Dotación (Do)

Dotación según Norma OS070 : 220 lts/hab/día

Caudal de diseño - Pocollay

1. Población Actual (Po)

UBICACIÓN	Lotes	Hab/Lote	habitantes
	8	6	48
	26	6	156
	5	6	30
	13	6	78
	22	6	132
	1	6	6
	3	6	18
	2	6	12
	6	6	36
	3	6	18
	33	6	198
	22	6	132
	11	6	66
	10	6	60
	11	6	66
	3	6	18
	10	6	60
	10	6	60
	19	6	114
	36	6	216
	18	6	108
Buzones entre el ovalo y el Club la Arboleda	6	6	36
	15	6	90
	7	6	42
	18	6	108
	5	6	30
	10	6	60
	10	6	60
	1	6	6
	5	6	30
	4	6	24
	5	6	1
	19	6	114
	26	6	156
	1	6	6
	2	6	12
	13	6	78
	30	6	180
	1	6	6
	7	6	42
	20	6	120
	19	6	114
	8	6	48
	56	6	336
	19	6	114

Buzones entre el ovalo y el Club la Arboleda	14	6	84
	20	6	120
	6	6	36
	15	6	90
	10	6	60
Salon de eventos D'classe	Aforo=	250	250
Restaurante las Parras	Aforo=	80	80
Dirección Regional de Educación Tacna	Aforo=	200	200
Restaurante "Sol y sombra"	Aforo=	140	140
Coelgio de ingenieros del Peru	Aforo=	200	200
Rest piedra blanca	Aforo=	300	300
Restaurante "El patroncito"	Aforo=	300	300
"La tacneñita"	Aforo=		0
"Azul azul"	Aforo=	295	295
Rest las sureñitas	Aforo=	200	200
Hospital ESSALUD Tacna	Aforo=	947	947
Club "La Arboleda"	Aforo=	1287	1287
Resturante "Los Arcos"	Aforo=	250	250
Salon de eventos "La Exclusiva"	Aforo=	250	250
Salon de eventos Leblanc	Aforo=	300	300
La fontana salon de eventos	Aforo=	300	300
Fest Restobar	Aforo=	600	600
Poblacion actual			9734

2. Población Futura ó Diseño para 20 años (Pd)

$$P_d = P_i * \left(1 + \frac{r * t}{100}\right)$$

Población Futura para Pocollay

Poblacion actual (P_i)=	9734 Hab.
Tasa de crecimiento (r) =	0.85 %
Período de diseño (t) =	20 años
Pd =	12,265 Hab.

3. Caudal promedio (Q_p)

$$Q_p = \left(\frac{Dot * P_d}{86400}\right)$$

Caudal promedio

Poblacion futura (P_d)=	12,265 Hab.	
Dotacion (Dot)=	220 lts/hab/día	Dotación según Norma OS070
Q_p =	31.23 l/s	

4. Caudal Máximo Horario (Q_{mh})

$$Q_{mh} = Q_p * k_2$$

Caudal maximo horario	
Coefficiente de variación horaria (k_2) =	2.05
Caudal promedio (Q_p) =	31.23 l/s
Caudal máx. horario para Pocollay (Q_{mh})=	64.0 ltr/s

5. Caudal de alcantarillado (Q_{alc})

$$Q_{alc} = Q_{mh} * \%Retorno$$

Caudal de alcantarillado

Coefficiente de retorno =	80%
Caudal de alcantarillado para Pocollay =	51.2 ltr/s

Anexo 3. Plano de Colector Existente y Condiciones Actuales

Anexo 4. Plano de Colector Propuesto y Condiciones Eficientes



LEGENDA	
TEMAS QUE COMPLETAN LOS TEMAS DE NO CUMPLEN CON LOS ESTANARES TECNICOS	—
TEMAS DE NO CUMPLEN CON LOS ESTANARES TECNICOS	—
DATOS QUE COMPLETAN CON LOS ESTANARES TECNICOS	ABC-@
DATOS QUE NO CUMPLEN CON LOS ESTANARES TECNICOS	ABC-@

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

PROYECTO: PROPUESTA DE MEJORA DEL COLECTOR DE DESAGUE DE LA AVENIDA CELESTINO VARGAS DEL DISTRITO DE POCOLAY MEDIANTE MODELAMIENTO HIDRAULICO CON SERVIDORES, TACNA, 2024

PLANO: COLECTOR PROPUESTO Y CONDICIONES EFICIENTES

Escuela: BASE GRAFICA EPS TACNA	Docente: WGS-84	Escuela: POCOLAY	Docente: POCOLAY
Dirigido por: Diego CAD. Bact. Simeon D. G. Velazquez	Elaborado por: Bact. Simeon D. G. Velazquez	Revisado por: TACNA	Revisado por: TACNA
Fecha: 31-11-2025	Fecha: 31-11-2025	Fecha: 31-11-2025	Fecha: 31-11-2025